

Prüf- und Dokumentationsrichtlinie für die experimentelle Ermittlung mechanischer Kennwerte von Feinblechen aus Stahl für die CAE-Berechnung	SEP 1240 2. Ausgabe
---	--------------------------------

Alle Rechte vorbehalten. Jegliche Vervielfältigung, Mikroverfilmung oder Speicherung in elektronischen Systemen gleich welcher Art ist untersagt.

Bei Unstimmigkeiten zwischen deutscher und englischer Sprachversion hat die deutsche Version Vorrang.

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	6	Plastische Werkstoffkennwerte aus dem Grenzformänderungsdiagramm
		6.1	Überblick
		6.2	Prüfstücke
		6.3	Prüfbedingungen
		6.4	Auswertung der Prüfergebnisse
2	Allgemeine Anforderungen	7	Dynamische Werkstoffkennwerte – Hochgeschwindigkeitszugversuch
2.1	Auswahl der Charge	7.1	Überblick
2.2	Werkstoffspezifikation	7.2	Prüfstücke
2.3	Basischarakterisierung/Metallographie	7.3	Prüfbedingungen
2.4	SI-Einheiten	7.4	Anzahl der Prüfungen
2.5	Datenformat für die Werkstoffkennwerte	7.5	Dokumentation und Auswertung
3	Probenvorbehandlung	8	Zyklische Werkstoffkennwerte – Versuchstechnische Ermittlung
3.1	Entnahmeort der Proben	8.1	Überblick
3.2	Definition des Probenzustandes/ Probenvorbehandlung	8.2	Proben und -vorbereitung
3.3	Bezeichnung der Prüfstücke	8.3	Prüfeinrichtung
4	Allgemeine Prüfbedingungen	8.4	Prüfbedingungen
4.1	Kontrolle der Dehnungs- und Kraftaufnehmer	8.5	Ablauf der Prüfung
4.2	Dokumentation der Versuchseinrichtung	8.6	Dokumentation und Auswertung
4.3	Probentemperatur	8.7	Statistik
4.4	Aufbewahrung der Prüfstücke	8.8	Grafische Darstellung der Ergebnisse
		8.9	Daten
		8.10	Formelzeichen
5	Elastische und plastische Werkstoffkennwerte aus dem Zugversuch	9	Versagenskennwerte für die Crash- und Umform-Simulation
5.1	Überblick	9.1	Ziel
5.2	Prüfstücke	9.2	Überblick
5.3	Prüfbedingungen	9.3	Allgemeine Versuchsbedingungen
5.4	Kennwerte aus dem quasi-statischen Zugversuch	9.4	Proben und -vorbereitung
5.5	Bestimmung der Fließkurve aus dem Bulge-Versuch	9.5	Uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Loch
5.6	Versuchsanzahl	9.6	Uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Kerben
5.7	Dokumentation und Auswertung	9.7	Biaxialer Zugversuch oder hydraulischer Tiefungsversuch
5.8	Einheiten		

07/2025

Dieses STAHL-EISEN-Prüfblatt wurde von Fachleuten im Stahlinstitut VDEh und im Verband der Deutschen Automobil-Industrie e.V. VDA erstellt.

9.8	Dokumentation der Ergebnisse	12.4	Elastische Kennwerte
9.9	Symbole und Abkürzungen	12.5	Grenzformänderungsschaubild
10	Referenzen	12.6	Zyklische Kennwerte
10.1	Literatur	12.7	Datendatei mit Kraft-Weg-Daten für den uniaxialen Zugversuch an der Probe mit Loch
10.2	Normative Verweisungen	12.8	Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse für den Zugversuch an der Probe mit Loch
11	Mitarbeit	12.9	Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung für den uniaxialen Zugversuch an der Probe mit Loch
12	Beispiele standardisierter Ergebnis – Datenfiles	13	Bilder und Tabellen
12.1	Chemische Analyse	14	Wesentliche Änderungen gegenüber der Ausgabe 2006
12.2	Plastische Kennwerte des dynamischen Zugversuchs		
12.3	Plastische Kennwerte		

1 Ziel

Dieses STAHL-EISEN-Prüfblatt (SEP) beschreibt den Stand der Technik für ausgewählte mechanische Prüfungen an Stahl-Feinblechen und deren Dokumentation. Dieses SEP ist die Grundlage zur einheitlichen Bestimmung von Werkstoffkennwerten für die CAE-Berechnung und soll den Datenaustausch zwischen Prüfinstituten, Werkstofflieferanten und Automobilherstellern standardisieren.

Dieses SEP beschreibt nicht den Prüfumfang, der für den Werkstofffreigabeprozess erforderlich ist.

Insbesondere im Hinblick auf die Vergleichbarkeit von Messergebnissen und mechanischen Kennwerten wird die Anwendung dieses SEP für die nachfolgend beschriebenen Prüfungen empfohlen.

Anwendungsbereich: Stahl-Feinblech mit einer Dicke bis 3 mm

Anmerkung: Nicht Ziel dieses SEP ist der Einfluss unterschiedlicher Werkstofflieferanten, Blechdicken und Chargenschwankungen auf die Werkstoffkennwerte.

2 Allgemeine Anforderungen

2.1 Auswahl der Charge

Die Proben sind nach Möglichkeit aus einer repräsentativen Werkstoff-Lieferung zu entnehmen. Diese ist durch Kennwerte für die Streckgrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung gekennzeichnet, welche im Bereich $\pm 1 \sigma$ bzgl. des Mittelwerts der jeweiligen Normen oder werksinternen Spezifikationen der Stahlhersteller liegen. Liegen solche Kennwerte nicht vor, sind Zielwerte zu vereinbaren.

2.2 Werkstoffspezifikation

Die folgenden Informationen sind, soweit vorhanden, für jeden zu prüfenden Werkstoff anzugeben und zu dokumentieren:

- Werkstoffbezeichnung nach Norm
- Oberflächenbeschichtung
- Blechdicke
- Stahlhersteller
- Chemische Zusammensetzung
- Herstellungsdatum
- Oberflächenzustand nach DIN EN ISO 21290

2.3 Basischarakterisierung/Metallographie

Die Basischarakterisierung erfolgt für jeden zu untersuchenden Werkstoff einmal im Anlieferungszustand. Hierzu sind die folgenden quasi-statischen Kennwerte zu bestimmen und zu dokumentieren:

- Streckgrenze,
- Zugfestigkeit,
- Gleichmaßdehnung,
- Bruchdehnung,
- r-Wert gemäß DIN EN ISO 10113,
- n-Wert gemäß DIN EN ISO 10275,
- Arithmetischer Mittenrauwert Ra nach DIN EN ISO 21290,
- Spitzenzahl RPc nach DIN EN ISO 21290.

Weiterhin sollte das Gefüge jedes Werkstoffs durch geeignete metallographische Methoden charakterisiert werden. Für die Dokumentation ist das Foto eines geätzten Längsschliffs mit Angabe der ASTM-Korngrößennummer nach DIN EN ISO 643, soweit technisch sinnvoll, und des Ätzmittels in digitaler Form an das Prüfprotokoll anzufügen.

2.4 SI-Einheiten

SI-Einheit	Symbol	Einheit
Zeit	t	s
Abmessung	Länge l Breite w Dicke t Weg	mm
Temperatur	T RT	K 296 K
Kraft	F	N
Spannung	s	MPa
E-Modul	E	GPa
Dehnung	A	%
Frequenz	f	Hz
Prüfgeschw.	v	mm/s
Dehnrate	e	s ⁻¹

2.5 Datenformat für die Werkstoffkennwerte

Zur Gewährleistung eines fehlerfreien Datenaustauschs sind nachfolgende Regeln für das standardisierte Datenformat einzuhalten. Für die Zeichencodierung der Versuchsdaten gelten folgende Vereinbarungen:

- ASCII-Code, 7-Bit, ohne Umlaute und ohne Tabulatoren,
- Beliebige Anzahl von Leerzeichen,
- Kommentarzeilen beginnen mit einem \$-Zeichen,
- Dezimaltrennzeichen ist der Punkt „.“,
- Spaltentrennzeichen ist das Semikolon,
- der Dateiname endet mit der Endung „.txt“ oder „.dat“.

Den abgespeicherten Datensätzen wird ein sogenannter „Datenheader“ vorangestellt, der alle wichtigen Informationen zur Versuchsdurchführung enthält. Der Datenheader enthält allgemeine, den Werkstoff betreffende Informationen (Material-ID zum Zeitpunkt des Prüfbeginns, Hersteller, etc.) sowie spezielle, aus der jeweiligen Prüfung resultierende Informationen (Zugfestigkeit, E-Modul, etc.).

Beispiele für die Datenheader der jeweiligen Prüfverfahren sind in Abschnitt 12 aufgeführt. Zur Befüllung der Datenheader sind die in Abschnitt 12 aufgeführten Schlagwörter zu verwenden, wobei die vorgegebene Schreibweise exakt einzuhalten ist.

Die im Datenheader enthaltenen Felder werden in sogenannte Muss-Felder und Kann-Felder unterteilt. Für Muss-Felder ist die Angabe zwingend notwendig, während Kann-Felder detailliertere Angaben zu den Messungen machen. Die Kann-Felder können nach Bedarf, unter Einhaltung der entsprechenden formalen Vereinbarungen, um weitere Begriffe (z. B. gemessene Kenngrößen) erweitert werden.

Bilder zur Dokumentation sind im JPEG-Format abzuspeichern. Das Format für Text-Dokumente ist Microsoft Word. Das Format für ausgewertete Versuchsdaten ist Microsoft Excel.

3 Probenvorbereitung

3.1 Entnahmeort der Proben

Um homogene Werkstoffeigenschaften in allen zu prüfenden Proben sicherzustellen, sollten die Proben wie folgt aus dem Stahlfeinblech-Coil entnommen werden:

Zur Ermittlung der elastischen und plastischen Kennwerte sollten alle Proben aus einem Bereich der Blechplatinen entnommen werden, der einer Coilbreite abzüglich 100 mm je Rand entspricht.

Für die Ermittlung der zyklischen Kennwerte sollten alle Proben aus dem mittleren Drittel der Coilbreite entnommen werden.

Bei der Probenherstellung muss sichergestellt werden, dass die Werkstoffeigenschaften in der Messlänge nicht beeinflusst werden.

3.2 Definition des Probenzustandes / Probenvorbehandlung

Ist eine spezielle Probenvorbehandlung bei einer Prüfung notwendig bzw. vorgesehen, so wird diese gesondert im Rahmen des jeweiligen Prüfverfahrens beschrieben.

Werden Proben vor der Prüfung einer thermischen, mechanischen oder thermomechanischen Vorbehandlung unterzogen, ist diese im Detail zu dokumentieren. Zur eindeutigen Erkennung der Proben wird eine Nomenklatur in Abschnitt 3.3 vorgeschlagen.

3.2.1 Anlieferungszustand (A)

Der Anlieferungszustand ist der Werkstoffzustand bei Anlieferung zum Kunden.

3.2.2 Wärmebehandlung der Proben (bezeichnet als W170) zur Bestimmung des Bake-Hardening-Index (BH₂)

Für die Simulation eines KTL-Trocknungsprozesses (wichtig für die thermische Vorbelastung lackierter Karosseriebleche) ist es notwendig, die Blechproben thermisch vorzubehandeln (KTL = Kathodische Tauchlackierung).

Als praxisnahe Wärmebehandlung hat sich nachfolgender Prozess in Anlehnung an DIN EN 10325 erwiesen:

Probentemperatur:	170 °C
Aufheizdauer auf Probentemperatur:	< 7 Minuten
Haltezeit:	20 Minuten
Abkühlung:	Kühlung an ruhender Luft

Die Temperatur ist mit einem Temperaturfühler im Ofenraum zu kontrollieren.

3.2.3 Bestimmung des Bake-Hardening-Index (BH₂)

Die Verwendung vorverformter Bleche kann sinnvoll sein, wenn der zu untersuchende Werkstoff unter kombinierter Vorverformung und

Wärmebehandlung eine signifikante Streckgrenzenerhöhung aufweist (analog zu Umformen + KTL), wie es bei Stählen mit einem Bake-Hardening-Effekt der Fall ist.)

Anmerkung: Werkstoffe wie HTX500XD, H180BD, usw. weisen eine ausgeprägte Abhängigkeit der Streckgrenze von der Vorverformungsrichtung auf (Bauschinger-Effekt), d. h., früherer Beginn der plastischen Verformung.

Eine definierte plastische Vordehnung des Werkstoffs soll die Vorverformung von Karosserie-Bauteilen bei der Herstellung simulieren.

Die Vorreckung wird gemäß DIN EN 10325 an Einzelproben im quasi-statischen Zugversuch vorgenommen.

Der BH₂-Index ist die Differenz zwischen der Dehngrenze R_{p2,0} einer um 2 % plastisch gedehnten Probe und der unteren Streckgrenze R_{eL} oder der Dehngrenze R_{p0,2} der gleichen Probe nach der in 3.2.2 beschriebenen Wärmebehandlung.

Während der Vordehnung muss die Prüfgeschwindigkeit bis zu einer Vordehnung von 2 % konstant gehalten werden.

Der Zugversuch wird nach DIN EN ISO 6892-1 Anhang A durchgeführt. Die für den Beginn des Zugversuchs angegebene Prüfgeschwindigkeit darf nur nach der Bestimmung von R_{eL} oder R_{p0,2} erhöht werden.

Bei Werkstoffen, die nach einer Vorverformung zu einer Alterung bereits bei Raumtemperatur neigen (z. B. Stähle mit einem Bake-Hardening-Effekt) ist es für die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse notwendig, die Prüfung unmittelbar nach dem Recken durchzuführen oder die gereckten Proben in Flüssigstickstoff zwischenzulagern.

Die Prüfrichtung bei der Ermittlung des Bake-Hardening-Effektes entspricht der Prüfrichtung zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften im Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1.

Anmerkung: Für die zu untersuchenden Stahlsorten gelten die in den jeweiligen Allgemeinen Technischen Lieferbedingungen festgelegten Probenentnahmebedingungen einschließlich Probenrichtung.

3.3 Bezeichnung der Prüfstücke

Für eine eindeutige Zuordnung von Prüfung und Probe bzw. Probenzustand ist ein Probenname nach den unten genannten Vorgaben (Merkmale) zu vergeben. Die Trennung der Merkmale erfolgt durch den Unterstrich („_“). Bezeichnungen nach internen Richtlinien der Prüflabore sind zulässig, soweit sie die geforderte eindeutige Zuordnung gewährleisten. Werden interne Bezeichnungen verwendet, so sind diese zu dokumentieren und dem Kunden zur Verfügung zu stellen.

1. Merkmal: Prüfung

- B** = Bulge,
- E** = E-Modul,
- F** = Fließkurve,
- G** = Grenzformänderungskurve,
- H** = Hochgeschwindigkeitszugversuch,
- V** = quasi-statischer Zugversuch,
- Z** = zyklische Versuche
- X** = Versagens-Charakterisierung

2. Merkmal: Werkstoff

Bezeichnung nach Norm (für nicht-genormte Werkstoffe ist der Handelsname oder die Firmenbezeichnung zu verwenden)

3. Merkmal: Oberfläche:

- U** = unbeschichtet/keine Oberflächenbeschichtung,
- Z** = feuerverzinkt,
- ZE** = elektrolytisch verzinkt,
- ZF** = galvannealed,
- AB** = abweichende Beschichtung

4. Merkmal: Vorverformung (und Richtung)

- L** = längs zur Walzrichtung,
- Q** = quer zur Walzrichtung,
- D** = diagonal zur Walzrichtung,
- 0** = keine Vorverformung

5. Merkmal: Vorverformung in %

- BH2** = 2 % Vorverformung
- BH0** = 0 % keine Vorverformung

6. Merkmal: Prüfrichtung

(L,Q,D)

7. Merkmal: Wärmebehandlung

- O** = ohne Wärmebehandlung
- W1** = wärmebehandelt (170 °C/20 Minuten),
- Wx** = wärmebehandelt nach Vereinbarung mit dem Kunden

8. Merkmal: Prüftemperatur (K): 233, 296, 373

9. Merkmal: Dehnrate bei Hochgeschwindigkeit in s⁻¹ (dimensionslos)

10. Merkmal: Nummer des Parallelversuches (a, b, c, ...)

Beispiel: Es wurde eine Fließkurve für die Stahlsorte CR210BH-GI +Z bestimmt. Der Werkstoff hatte eine Vorverformung von 5 % längs zur Walzrichtung, wurde quer zur Walzrichtung geprüft und nicht wärmebehandelt; die Prüfung erfolgte bei einer Prüftemperatur von 373K (100 °C) mit einer Dehnrate von 20 s⁻¹ und dies war der dritte Parallelversuch.

F_CR210BH_Z_L_5_Q_O_373_20_c.txt

Anmerkung: Der Kurzname im Datei-Namen wird der aktuellen Norm angepasst. Der Kurzname im Datenheader wird nicht verändert.

4 Allgemeine Prüfbedingungen

4.1 Kontrolle der Dehnungs- und Kraftaufnehmer

Die Prüflabore sind angehalten, ihre Einrichtungen regelmäßig zu überprüfen und dies zu dokumentieren.

Die Kalibrierung kann im Rahmen der turnusmäßigen Abnahme der Prüfmaschinen erfolgen.

4.2 Dokumentation der Versuchseinrichtung

Die Dokumentation für den Zugversuch erfolgt gemäß DIN EN ISO 6892-1. Zusätzlich ist die verwendete Messeinrichtung zu beschreiben:

- Prüfmachine/Typ (Prüfklasse),
- Kraft- und Dehnungsaufnehmer,
- Einspannungsart und -vorrichtung,
- Regelung (Spannungs-, Dehnungs- oder Lageregelung) sowie die

- Messwernerfassung (eingesetzte Hard- und Software, Produktname, Version, Abtaste).

4.3 Probentemperatur

Nachfolgende Prüftemperaturen (am Prüfstück) können für die Bestimmung der mechanischen Werkstoffkennwerte verwendet werden, abhängig vom Verwendungszweck des Blechbauteils:

- 296K (23 °C = RT),
- 233K (–40 °C),
- 373K (100 °C).

Die zulässige Temperaturschwankung während des Versuchs ist auf ± 5 K zu begrenzen.

Die Versuchsart ist zu beschreiben (Zugversuch bei erhöhter Temperatur nach DIN EN ISO 6892-2, bei tiefer Temperatur nach DIN EN ISO 6892-3)

4.4 Aufbewahrung der Prüfstücke

Für spätere Überprüfungen der Messungen sind die geprüften Prüfstücke und verbliebenes nicht verwendetes Probenmaterial bis zum Ende der Testreihe bzw. in Absprache mit dem Kunden auch darüber hinaus aufzubewahren.

5 Elastische und plastische Werkstoffkennwerte aus dem Zugversuch

5.1 Überblick

Die Bestimmung des E-Moduls erfolgt in Anlehnung an DIN EN ISO 6892-1 (Anhang G) und SEP 1235.

Die Messung der plastischen Kennwerte und der Fließkurve erfolgt im quasi-statischen Zugversuch in Anlehnung an die DIN EN ISO 6892-1, jedoch mit konstanter Dehngeschwindigkeit.

Es werden also für die Bestimmung elastischer und plastischer Kennwerte zwei getrennte Versuche durchgeführt.

Der Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1 erlaubt grundsätzlich die Bestimmung elastischer und plastischer Kennwerte in einem Versuch, sofern ein Feindehnungsmessaufnehmer verwendet wird.

Abweichungen von diesem Verfahren, die in diesem SEP festgelegt werden, werden nachfolgend beschrieben.

Anmerkung: Die versuchstechnische Aufnahme des E-Moduls ist außerordentlich aufwändig und stellt sehr hohe Anforderungen an das Prüfgerät und die Messwernerfassung. Fehlerhafte Messungen aufgrund unzureichender apparativer Ausstattung werden nicht ohne weiteres erkannt, da zwar ein Wert für den E-Modul ermittelt wird, dieser aber nicht notwendigerweise mit dem physikalisch korrekten Wert übereinstimmen muss.

5.2 Prüfstücke

Prüfstücke sind nach DIN EN ISO 6892-1 (Probenform 2) herzustellen.

5.3 Prüfbedingungen

In Abhängigkeit vom Untersuchungsziel des Kunden können unterschiedliche Vorbehandlungen des zu prüfenden Werkstoffes/temperierte Versuche im Auftrag vereinbart werden.

Dazu gehören in erster Linie:

- Probenvorbehandlung (z. B. Orientierung der Probenlängsachse zur Walzrichtung, Vorverformung, Temperatur, Lackeinbrenntemperatur, ...),
- Prüftemperatur

jeweils einzeln oder kombiniert.

Tabelle 5-1 zeigt eine mögliche Auswahl an zu variierenden Parametern. Die grau hinterlegten Felder stellen ein mögliches Standardversuchsprogramm dar. Einschränkungen oder Erweiterungen, falls notwendig, können vereinbart werden.

Anmerkung: Es ist sicherzustellen, dass die Proben die vorgegebene Temperatur bei Versuchsbeginn aufweisen. Dies ist durch eine Versuchsreihe mit Temperaturmessung an der Probe nachzuweisen. Hersteller und Typ des Klimaschranks sind zu dokumentieren.

5.4 Kennwerte aus dem quasi-statischen Zugversuch

Ergänzend zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften im quasi-statischen Zugversuch

nach DIN EN ISO 6892-1, gelten die in den Abschnitten 5.4.1 und 5.4.2 genannten Prüfbedingungen.

Im Folgenden werden die Randbedingungen zur Bestimmung des E-Moduls und der Fließkurve in jeweils getrennt durchzuführenden Versuchen beschrieben.

5.4.1 Bestimmung des E-Moduls

Die Bestimmung des E-Moduls erfolgt nach DIN EN ISO 6892-1, Anhang G.

5.4.2 Bestimmung von Fließkurven im Zugversuch (in Anlehnung an DIN EN ISO 6892-1)

In Abweichung zur DIN EN ISO 6892-1 wird der gesamte Zugversuch mit einer konstanten Dehngeschwindigkeit von 0,4 %/s (0,004/s) bezogen auf die Anfangsmesslänge L_0 durchgeführt.

Anmerkung: Nach DIN EN ISO 6892-1 ist bis zu der unteren bzw. unteren und oberen Streckgrenze eine Dehngeschwindigkeit zwischen 0,00025/s bis 0,0025/s vorgegeben, für den Bereich der Zugfestigkeit (R_m) soll diese < 0,008/s betragen. Der Grund nach diesem SEP die Dehngeschwindigkeit konstant zu halten – in Abweichung von der Norm DIN EN ISO 6892-1 – ist die Ermittlung von Fließkurven (wahre Spannung-wahre plastische Dehnung) als Eingangsdaten für die Berechnung/Simulation, im Unterschied zu einer (technischen) Spannungs-Dehnungs-Kurve. Für eine sinnvolle Berechnung ist es unabdingbar, dass die erhaltene Fließkurve keine Unstetigkeitsstelle aufweist, wie sie durch die Umschaltung der Dehngeschwindigkeit auftreten würde. Die aus den Versuchen mit konstanter Dehnrage ermittelten Kennwerte (insbesondere $R_{p0,2}$, R_m) können von den nach DIN EN ISO 6892-1 ermittelten Kennwerten abweichen.

5.5 Bestimmung der Fließkurve aus dem Bulge-Versuch

DIN EN ISO 16808 beschreibt die Prüfung, die Prüfausrüstung, die Proben sowie die Berechnung biaxialer Spannungs-Dehnungs-Kurven.

5.6 Versuchsanzahl

Es sind drei gültige Versuche durchzuführen. Wenn die Versuchsergebnisse um mehr als 5 %

abweichen, sind zwei weitere Versuche durchzuführen.

5.7 Dokumentation und Auswertung

5.7.1 Elastische Kennwerte aus dem Zugversuch

Folgende Messdaten sind dokumentieren:

- Anfangsbreite,
- Anfangsdicke,
- Anfangs-Messlänge (siehe Beispiel-Datenheader)

Weiterhin sind folgende kontinuierlich gemessene Rohdaten für eine spätere Auswertung spaltenweise aufzuzeichnen:

- Zeit,
- Kraft,
- Weg,
- Breite/Breitenänderung.

Bei der Auswertung werden die elastischen Moduln aus den Einzelmessungen bestimmt: der arithmetische Mittelwert, das Maximum und das Minimum. Die Bestimmung des E-Moduls erfolgt nach DIN EN ISO 6892-1 (Anhang G) und nach SEP 1235.

5.7.2 Plastische Kennwerte aus dem Zugversuch

Folgende Messdaten sind zu dokumentieren:

- Anfangsbreite,
- Anfangsdicke,
- Anfangsmesslänge (siehe Datenheader)

Darüber hinaus sind folgende kontinuierlich gemessene Rohdaten für eine spätere Auswertung spaltenweise aufzuzeichnen:

- Zeit,
- Kraft,
- Weg,
- Breite/Breitenänderung (für r-Werte)

Bei der Auswertung der gemessenen Rohdaten werden eine konventionelle und eine wahre Spannungs-Dehnungs-Kurve berechnet (nach DIN EN ISO 6892-1). (alternativ nach dem Auswertungsmodul der CAE-Datenbank/AK 6.1.29)

Nachfolgende Kennwerte werden aus der Spannungs-Dehnungs-Kurve ermittelt:

- $R_{p0.2}$, (R_{eL} , R_{eH}) nach DIN EN ISO 6892-1 bei konstanter Dehnrate
- R_m nach DIN EN ISO 6892-1 bei konstanter Dehnrate,
- $A_{Lüd}$, A_g , $A_{80\text{ mm}}$ nach DIN EN ISO 6892-1 bei konstanter Dehnrate,
- n-Wert nach DIN EN ISO 10275 (notwendig ist die Angabe des Dehnbereichs, in dem der n-Wert gültig ist (z. B. 10 %),
- Bake-Hardening-Index nach DIN EN 10325.

Die Bestimmung des r-Wertes erfolgt durch eine Auftragung von φ_b (logarithmische Breitenänderung) über φ_l (logarithmische Längenänderung) im Dehnungsbereich von 2 % bis $A_g - 1$ %.

Die Auswertung kann alternativ nach dem Auswertungsmodul der CAE-Datenbank/AK 6.1.29 vorgenommen werden.

Durch beide Verfahren wird sichergestellt, dass der r-Wert den repräsentativen Mittelwert im Dehnungsbereich >2 % bis $A_g - 1$ % darstellt.

5.7.3 Bestimmung der Fließkurve aus dem Bulge-Versuch

Nach DIN EN ISO 16808 sind folgende Daten tabellarisch zu dokumentieren:

- Zeit,
 - Krümmungsradius ρ ,
 - Druck p ,
 - der absolute Wert des plastischen Umformungsgrades in Dickenrichtung,
 - biaxiale Spannung.
- (siehe Beispiel-Datenheader)

5.8 Formelzeichen

E-Modul	E
Dehngeschwindigkeit	mm/s
Streckgrenze	$R_{p0.2}$ (R_{eL} , R_{eH})
Zugfestigkeit	R_m
Dehnung	$A_{Lüd}$, A_g , A_{80}
n-Wert	
r-Wert	

6 Plastische Werkstoffkennwerte aus dem Grenzformänderungsdiagramm

6.1 Überblick

Die Messung der Grenzformänderung erfolgt im Nakajima-Versuch nach DIN EN ISO 12004-2.

6.2 Prüfstücke

Es werden mindestens 6 verschiedene Prüfstückgeometrien benötigt, um eine gleichmäßige Verteilung der Messwerte von Haupt- und Nebendehnung vom Tiefziehbereich bis zur biaxialen Dehnung zu erhalten.

Die Prüfstücke müssen einen parallelen Messbereich von mindestens 25 mm haben. Der parallele Messbereich liegt quer zur Walzrichtung.

Das Messraster (stochastisch oder Gitter) darf die Dehnungsentwicklung und Rissentstehung nicht beeinflussen. Die Herstellung der Prüfstücke hat so zu erfolgen, dass der Riss nicht von der Kante her erfolgt. Bevorzugte Herstellungsverfahren sind Fräsen oder Drahterodieren.

Nach der Fertigung sind die Prüfstücke eindeutig und unabänderbar außerhalb des Messbereiches zu kennzeichnen.

6.3 Prüfbedingungen

Der Ziehstempel muss mit einer konstanten Geschwindigkeit von 1 mm/s bis 2 mm/s fahren. Der Stempeldurchmesser ist $100\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$, der Niederhalter $105 \pm 5\text{ mm}$ und die Kantenradien sollten 5 mm bis 10 mm sein.

Die Reibung ist durch ein geeignetes Tribosystem zu minimieren. Dieses Tribosystem ist während der Versuchsreihe beizubehalten. Bewährt haben sich Mehrlagenverbunde aus PTFE (Folie)/Schmierstoff/PVC/Fett/PTFE. Der Versuch ist nur gültig, wenn der Anriss innerhalb $\pm 15\text{ mm}$ von der Kuppenmitte des Prüfstücks erfolgt.

Die Prüfung ist bei Raumtemperatur ($296\text{ K} \pm 5\text{ K}$) durchzuführen und wird beim Auftreten eines Risses abgebrochen. Der Riss kann optisch oder durch Abfall der Prüfkraft detektiert werden.

6.4 Auswertung der Prüfergebnisse

Die Auswertung erfolgt gemäß DIN EN ISO 12004-2 im Schnittlinienverfahren.

Ausgewertet wird der Dehnungsverlauf senkrecht zum Riss. Zurzeit existiert noch kein objektives Kriterium, um zeitliche Verläufe der Grenzformänderung reproduzierbar auswerten zu können. Pro Schnittlinie wird eine Grenzformänderung bestimmt und diese als Wertepaar mit Haupt- und Nebendehnung in einer Datei abgelegt (siehe Datenheader).

7 Dynamische Werkstoffkennwerte – Hochgeschwindigkeitszugversuch

7.1 Überblick

Die Messung der Fließkurve erfolgt im Hochgeschwindigkeitszugversuch nach DIN EN ISO 26203-1 und 2.

7.2 Prüfstücke

Es werden Flachzugproben verwendet. Beispiele und charakteristische Abmessungen finden sich im SEP 1230, Anhang 2. Die Prüfstückköpfe können unterschiedlich ausgeführt sein, z. B. zur Applikation von Dehnungsmessstreifen zur Kraftmessung nach dem Dynamometer-Prinzip. Geometrien und Abmessungen der Prüfstücke sind in DIN EN ISO 26203-2 angegeben.

Nach der Fertigung sind die Prüfstücke eindeutig und unabänderbar außerhalb des Messbereiches zu kennzeichnen.

7.3 Prüfbedingungen

7.3.1 Vorbereitung der Prüfung

Insbesondere bei servohydraulischen Prüfmaschinen kann es im Versuch zu Schwingungen des Anlagenrahmens und dadurch zu Störungen in der Kraft- und/oder Wegsignalmessung kommen. Diese Schwingungen beeinflussen das Kraftsignal und damit auch die Spannungs-Dehnungs-Kurve (unruhiges, gezacktes Signal).

Die eingesetzten Algorithmen zur Glättung des Messsignals können nicht zu vernachlässigende Fehler verursachen und sind kaum nachprüfbar. Aus diesem Grund wird für Dehnraten größer als 50 s^{-1} und Prüfstücke mit einer parallelen

Länge von 20 mm oder mehr eine Instrumentierung des Kraftsignals empfohlen, z. B. durch Anbringen eines Dehnungsmessstreifens (DMS) zur Kraftmessung auf dem Prüfstück. Es ist darauf zu achten, dass die DMS an einer Stelle des Prüfstücks appliziert werden, die sich rein elastisch verformt (Dynamometerbereich). Dies kann durch FEM-Berechnungen verifiziert werden.

Zur Eliminierung von Biegeschwingungen kann es vorteilhaft sein, auf beiden Seiten des Prüfstücks einen DMS zu applizieren und die beiden Signale in einer Wheatstone-Brücke zu schalten.

Die Verwendung von Dämpfungselementen im Kraftstrang zur Schwingungsminderung sollte vermieden werden. Dies würde die Dehnraten zu Beginn der Prüfung verringern und könnte die Streckgrenze beeinflussen.

Zur Bestimmung der direkt am Prüfstück gemessenen Dehnung bzw. Dehnraten ist der Einsatz instrumentierter Weg- oder Dehnungsmessung zu empfehlen. Beispielsweise können Hochgeschwindigkeitskameras, optoelektronische Systeme oder Laser-Doppler-Extensometer verwendet werden. Mit diesen Methoden wird die Dehnung direkt auf der Prüfstück-Oberfläche gemessen.

Wird die Dehnung direkt aus dem Kolbenweg bestimmt, muss der Einfluss der Maschinensteifigkeit berücksichtigt und bei der Auswertung eliminiert werden.

7.3.2 Prüftemperatur/Vorbehandlung

In Abhängigkeit vom Untersuchungsziel des Kunden können unterschiedliche Vorbehandlungen des zu prüfenden Werkstoffes/temperierte Versuche im Auftrag vereinbart werden.

Dazu gehören in erster Linie:

- Probenvorbehandlung (z. B. Orientierung der Probenlängsachse zur Walzrichtung, Vorverformung, Temperatur, Lackeinbrenntemperatur, ...)
- Prüftemperatur

jeweils einzeln oder kombiniert.

Tabelle 7-1 zeigt eine mögliche Auswahl an zu variierenden Parametern. Die grau hinterlegten Felder stellen ein mögliches Standard-Prüfprogramm dar. Die blau hinterlegten Felder stellen

ein zusätzliches Prüfprogramm für Stähle mit einem nachgewiesenen Bake-Hardening-Potenzial dar. Einschränkungen oder Erweiterungen können vereinbart werden, wenn erforderlich.

7.3.3 Prüfungsgeschwindigkeit

Für eine ausreichende Beschreibung der Dehnratenabhängigkeit werden folgende Solldehnraten empfohlen (andere Dehnraten können vereinbart werden):

Dehnraten = 1 s^{-1} , 10 s^{-1} , 100 s^{-1}

7.4 Anzahl der Prüfungen

Es sind drei gültige Versuche durchzuführen. Sollten die Versuchsergebnisse um mehr als 10 % abweichen, sind zwei weitere Versuche durchzuführen.

7.5 Dokumentation und Auswertung

7.5.1 Messdaten

Folgende Messdaten sind zu dokumentieren:

- Anfangsbreite (optional),
- Anfangsdicke,
- Anfangs-Messlänge
(siehe Beispiel-Datenheader)

Darüber hinaus sind folgende kontinuierlich gemessene Rohdaten für eine spätere Auswertung spaltenweise aufzuzeichnen:

- Zeit,
- Kraft,
- Weg,
- Breite/Breitenänderung.

7.5.2 Kennwerte

Bei der Auswertung der Rohdaten (gemessene Kraft-Weg-Verläufe in Abhängigkeit von der Dehnraten) werden eine konventionelle und eine wahre Spannungs-Dehnungs-Kurve berechnet (in Anlehnung an DIN EN ISO 6892-1).

Aus der jeweiligen Spannungs-Dehnungs-Kurve werden folgende Kennwerte ermittelt:

- Streckgrenze R_e ,
- Zugfestigkeit R_m ,
- Gleichmaß- (A_g) und
- Bruchdehnung ($A_{20 \text{ mm}}$, $A_{12 \text{ mm}}$, etc.)

8 Zyklische Werkstoffkennwerte – Versuchstechnische Ermittlung

8.1 Überblick

Ziel ist die Bestimmung zyklischer Kennwerte von Feinblechen für die CAE-Berechnung. Basis hierfür ist das örtliche Konzept (auch Kerbgrundkonzept).

Die Dehnungs- Wöhlerlinie und die zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve des Werkstoffs werden in dehnungskontrollierten Schwingfestigkeitsversuchen unter konstanten Dehnungsamplituden bestimmt.

8.2 Proben und -vorbereitung

8.2.1 Probenentnahme

Das Probenmaterial muss aus dem inneren Bereich der Coilbreite entnommen werden. Die Walzrichtung ist zu dokumentieren. (siehe 3.1)

8.2.2 Probengeometrie

Flachproben mit der Dicke des zu untersuchenden Kalt- oder Warmbandes sind herzustellen. Eine Bearbeitung der gewalzten Oberfläche erfolgt nicht und entspricht dem Anlieferungszustand der Bleche.

Geometrie und Abmessungen sind **Bild 8-1** zu entnehmen. Andere geometrische Merkmale der Prüfstücke, z. B. die Einspannköpfe, können variieren, angepasst an die jeweiligen Maschinengegebenheiten.

8.2.3 Herstellung der Prüfstücke

Probenentnahme mittels Laserschneiden (rechteckige Bleche mit 5 mm Übermaß) und einer anschließenden Endbearbeitung mittels Drahterodieren in einem Paket von 10 bis 25 Blechen hat sich als positiv erwiesen.

Alternativ ist auch die Probenfertigung durch andere Fertigungsverfahren, wie z. B. Fräsen oder Wasserstrahlschneiden möglich.

Das Kantenbrechen im taillierten und Radiusbereich ist händisch mit zylindrischem Schleifstift durchzuführen. Der taillierte Bereich wird abschließend in Längsrichtung mittels Tuchscheibe unter Zuhilfenahme einer Hochglanzpaste handpoliert. Der Radius der entgrateten Kanten muss kleiner als $t/4$ sein (t = Blechdicke). Das

angewandte Herstellungsverfahren ist zu dokumentieren.

8.2.4 Korrosionsschutz

Es ist eine leichte Beölung mit Korrosionsschutzöl vorzunehmen, welche vor der Prüfung zu entfernen ist (entfetten).

8.2.5 Oberflächenzustand

Die Oberfläche soll einen arithmetischen Mittenrauwert (Ra-Wert) $< 0,2 \mu\text{m}$ nach DIN EN ISO 21920-1 aufweisen. Die polierte Schnittkante soll eine maximale Rauheitsprofilhöhe (Rz-Wert) $< 0,7 \mu\text{m}$ aufweisen.

8.2.6 Markierung

Um eine eindeutige Zuordnung der Prüfstücke zu erhalten, ist der Prüfstückname außerhalb des Messbereiches anzubringen.

8.3 Prüfeinrichtung

8.3.1 Prüfmaschine

Es ist eine servohydraulische Prüfmaschine mit Kraft- und Dehnungsregelung, entsprechend der Mindestanforderung Prüfklasse 1 nach DIN EN ISO 6892-1 im relevanten Prüfbereich, einzusetzen. Der Maschinenhersteller, das Baujahr, der Zylindertyp sowie die Güte der Kraftmesseinrichtung sind im Prüfprotokoll zu dokumentieren.

Die Prüfinstitutionen haben sicherzustellen, dass die vorgegebenen Prüfbeanspruchungen eingehalten werden. Der Hersteller und Gerätetyp der Regelelektronik und des Sollwertvorgabegerätes sind ebenfalls zu dokumentieren.

8.3.2 Probeneinspannung, Ausrichtung des Prüfstrangs

Die Probeneinspannung kann hydraulisch oder mechanisch erfolgen. Eine Torsionsbelastung der Probe ist zu verhindern. Zum Schutz der Probe, der Knickstütze und des Dehnungsaufnehmers sind mechanische Wegbegrenzungen vorzusehen. Eine Biegebeanspruchung ist dabei zu vermeiden.

Anmerkung: Zur Vermeidung von zusätzlicher Biegebeanspruchung müssen die Einspannungen der Probe genau ausgerichtet werden, z. B. über zwei Halbproben und ein Haarlineal. Eine eventuell auftretende Biegebeanspruchung kann

mit DMS-applizierten ebenen Kalibrierproben oder anhand der aufgezeichneten Hysteresen – insbesondere des E-Moduls – beurteilt werden.

8.3.3 Dehnungsaufnehmer

Der zu verwendende Messaufnehmer muss eine Messlänge von 10 mm haben.

Die Befestigung am Prüfstück ist so vorzunehmen, dass die Position des Dehnungsaufnehmers während des Versuches auf der Probe unverändert bleibt. Es ist sicherzustellen, dass der Dehnungsaufnehmer immer an der gleichen Stelle der Probe befestigt wird.

Die Anpresskraft der Schneiden soll 2 N betragen. Bei höherfesten Stählen bzw. tiefen Temperaturen ist die Anpresskraft ggf. auf 3 bis 4 N zu erhöhen, um Rutschen der Schneiden auf dem Prüfstück zu verhindern. Die Anpresskraft kann z. B. mit Hilfe eines Drahtbügels oder einer Federwaage gemessen werden.

Herstellerfirma, Typ, zulässige Temperatur, Kalibrator, Güteklasse, Kalibrierkurve (Nulldurchgangsverhalten), Befestigungsart und Anpresskraft der Schneiden sind zu dokumentieren.

Anmerkung: Um Anrisse unter den Schneiden zu vermeiden, können optische Dehnungsaufnehmer verwendet werden. Die Anfangsmesslänge von 10 mm und das Regelverhalten dürfen durch die Verwendung von optischen Dehnungsaufnehmern nicht beeinflusst werden. Konformität zu DIN EN ISO 9513 muss sichergestellt sein.

8.3.4 Knickstütze

Abhängig von der Blechdicke und dem Werkstoff neigen die Prüfstücke im Druckbereich zum Ausknicken. Aus diesem Grund wird eine Knickstütze benötigt, die ein „Anlehnen“ der Probe ermöglicht, ohne dass ein Ausknicken erfolgt.

Das System der Knickstütze ist schwimmend gelagert, siehe **Bild 8-2**.

Anmerkung: Eine andere Geometrie der Knickstütze kann angewendet werden. Deren Vergleichbarkeit ist nachzuweisen.

Um ein möglichst ungehindertes Verformen des Prüfstücks in der Knickstütze zu gewährleisten, wird zwischen Knickstütze und Prüfstück beid-

seitig eine 0,5 mm dicke PTFE-Folie eingelegt. Die Folie hat die Form der Knickstütze. Ihre Unversehrtheit ist vor und nach jedem Versuch zu überprüfen. Zusätzliche Schmierung zwischen Prüfstück und PTFE-Folie ist nicht zulässig.

8.3.5 Messwertaufzeichnung

Hersteller, Gerätetyp, Software sind zu dokumentieren.

8.3.6 Kontrolle von Dehnungs- und Kraftaufnehmer

Die Prüfstelle muss zu Beginn und am Ende jeder Versuchsreihe eine Funktion des eingesetzten Dehnungsaufnehmers überprüfen.

Die Kalibrierung des Kraftaufnehmers ist in den vom Qualitätsmanagement vorgesehenen Zyklen zu überprüfen.

8.4 Prüfbedingungen

8.4.1 Schwingfestigkeitsprüfungen

Die Schwingfestigkeitsprüfungen erfolgen dehnungskontrolliert.

8.4.2 Belastungsform

Das Prüfstück wird mit einer sinusförmigen Belastung beaufschlagt.

8.4.3 Prüffrequenzen

Abhängig von der erwarteten Schwingspielzahl bis zum Anriss ist die Prüffrequenz zu wählen:

bis 1.000 Schwingspiele (Zyklen) = 0,1 Hz
 1.000 – 10.000 SSp = 0,1 – 0,5 Hz
 10.000 – 100.000 SSp = 0,5 – 3 Hz
 100.000 – 500.000 SSp = max. 5 Hz
 500.000 – 1.000.000 SSp = max. 10 Hz

Zweite Methode: Anpassung der Prüffrequenz entsprechend der Versuchsdauer

Die Wahl der Frequenz erfolgt abhängig von der Dehnungsamplitude. Beispiel für Tiefziehstahl:

$\geq 0,6 \% = 0,1 \text{ Hz}$
 $0,4 - < 0,6 \% = 0,1 - 0,5 \text{ Hz}$
 $0,2 - < 0,4 \% = 0,5 - 2,0 \text{ Hz}$
 $< 0,2 \% = \geq 2 \text{ Hz}$

Bei anderen Werkstoffgruppen ist ggf. eine Anpassung nötig.

Dritte Methode: Wahl einer festen Dehnung und Wechsel in den kraftkontrollierten Modus, wenn für eine bestimmte Zyklenzahl keine Plastizität erkennbar ist. Dies gestattet eine kürzere Versuchsdauer.

Hinweis VDEh: Bei der Öffentlichen Umfrage ist zu prüfen, welche der drei Methoden (oder alle) ins SEP 1240 aufgenommen werden sollen.

8.4.4 Prüftemperatur/Vorbehandlung

In Abhängigkeit vom Untersuchungsziel des Kunden können unterschiedliche Vorbehandlungen des zu prüfenden Werkstoffes/temperierte Versuche im Auftrag vereinbart werden. Dazu gehören in erster Linie:

- Probenvorbehandlung (Orientierung der Probenlängsachse zur Walzrichtung, Vorverformung, Temperatur, z. B. Lackeinbrenntemperatur, ...)
- Prüftemperatur

jeweils einzeln oder kombiniert.

Tabelle 8-1 zeigt eine mögliche Auswahl an zu variierenden Parametern. Die grau hinterlegten Felder stellen ein mögliches Standardversuchsprogramm dar. Einschränkungen oder Erweiterungen können vereinbart werden, wenn erforderlich.

Es ist sicherzustellen, dass die Proben die vorgegebene Temperatur bei Versuchsbeginn aufweisen. Dies ist durch eine Versuchsreihe mit Temperaturmessung an der Probe nachzuweisen. Hersteller und Typ des Klimaschranks sind zu dokumentieren.

8.4.5 Anzahl der Versuche

Es sind 12 auswertbare Versuche pro Wöhlerlinie durchzuführen.

8.4.6 Dehnungshorizonte

Folgende Dehnungshorizonte (à 3 Proben) sind zu prüfen: 0,8 %, 0,4 %, 0,2 % sowie bei einem Dehnungswert $< 0,2 \%$. Jede Prüfung erfolgt bis zu einer Lastspielzahl $N = 10^6$.

Ist aus den elastischen Anteilen bei einer Dehnungsamplitude von 0,8 % und 0,4 % bei linearer Regression auf einen Dehnungshorizont von 0,2 % kein Anriss zu erwarten, so sind drei Versuche auf einem höheren Horizont durchzuführen.

ren, wobei der Dehnungswert so gewählt werden muss, dass mit Brüchen vor Erreichen von 10^6 Zyklen gerechnet werden kann. Unterhalb dieses höheren Horizontes werden abschließend drei Proben bis maximal $N = 10^6$ Zyklen untersucht.

8.4.7 Mitteldehnung

Es ist nur eine Mitteldehnung $\varepsilon_m = 0$ entsprechend $R_\varepsilon = -1$ zu prüfen.

8.5 Ablauf der Prüfung

8.5.1 Prüfprotokoll

Ein Beispiel-Prüfprotokoll ist im Anhang (**Tabelle 8-2**) dargestellt.

8.5.2 Versuchsbeginn

Die ersten 5 Hysteresen sind aufzuzeichnen. Die Einregelung auf den geforderten Sollwert muss innerhalb der ersten 10 Schwingspiele oder der ersten 10 Sekunden abgeschlossen sein, wobei ein Überspringen von max. 5 % zugelassen ist. Danach darf die Abweichung zwischen Soll- und Istwert bis zum Versuchsende nicht größer als ± 3 % sein.

Grundsätzlich werden Versuche mit Zugbelastung gestartet.

8.5.3 Bestimmung des Anriss-Zeitpunkts

Während des Versuchs werden Spannungsmaxima zur Darstellung der Wechselverformungskurve aufgezeichnet. Bei Anriss der Probe ist eine geringere Kraft bzw. Spannung notwendig, um die gewünschte Dehnungsamplitude zu erhalten. Der Anrisszeitpunkt wird durch den Abfall des Spannungsmaximums über der Schwingspielzahl bestimmt.

Anrissdefinition:

Durch den Verlauf der Oberlast über der Zyklenzahl wird im Auswertebereich von ca. $N_i/2$ bis ca. N_i eine Ausgleichsgerade gelegt (N_i = Anzahl von Zyklen bis zur Riss-Initiierung). Die sich bei 10 % Abfall (Anriss innerhalb der Messlänge) bzw. Anstieg (Anriss außerhalb der Messlänge) der Oberlast ergebende Schwingspielzahl wird als Anrisslebensdauer festgelegt.

8.5.4 Prüfdauer

Eine Prüfung wird bei offensichtlichem Anriss im Prüfstück oder spätestens nach 10^6 Schwing-

spielen abgebrochen, wenn keine Anrissbildung aufgetreten ist. Versuche ohne Anriss werden als Durchläufer gewertet, in die entsprechende Auftragung eingetragen (spezielle Kennzeichnung ist hierbei zur Unterscheidung notwendig), jedoch nicht zur Auswertung herangezogen.

8.6 Dokumentation und Auswertung

8.6.1 Auswertung der Versuche

Versuche mit Anrissbildung unter den Schneiden sind ungültig, sofern sie zu abweichenden Lebensdauern führen, verglichen mit den Ergebnissen von gültigen Versuchen. Durchläufer ohne Anrisse werden bei Bestimmung der Kennwerte der Dehnungs-Wöhlerlinie nicht berücksichtigt.

Das Spannungsverhältnis der Spannungen im Dauerfestigkeitsbereich kann sich deutlich von $R = -1$ unterscheiden. Zur Information über den R-Wert ist auch bei Durchläufern ohne Anrisse die Hysterese bei halber Versuchsendschwingspielzahl im Datensatz zu speichern.

Ergeben sich bei der Berechnung der plastischen Dehnungsanteile Werte $< 0,01$ %, werden diese bei der Bestimmung der plastischen Geraden der Dehnungs-Wöhlerlinie nicht berücksichtigt. In diesem Fall entsprechen die elastischen Dehnungsanteile der gemessenen Gesamtdehnung und werden in der Regressionsrechnung zur Bestimmung der elastischen Geraden in der Dehnungs-Wöhlerlinie berücksichtigt.

Prüfstücke, die bis 10^6 Schwingspiele keinen Anriss zeigen (Durchläufer), werden nicht zur Berechnung der zyklischen Kennwerte herangezogen.

8.6.2 Auswertung der stabilisierten Hysterese

Die zyklischen Werkstoffkennwerte gelten für stabilisiertes Werkstoffverhalten. Stabilisiertes Werkstoffverhalten wird bei halber Versagensschwingspielzahl angenommen. Deshalb werden für die Bestimmung der zyklischen Kennwerte die Spannungs-Dehnungs-Hysteresen bei halber Versagensschwingspielzahl herangezogen. Die Gesamtdehnungsamplitude e_a und die Spannungsamplitude σ_a berechnen sich aus den Extrema der Hysterese, siehe **Bild 8-3**.

8.6.3 Dehnungs-Wöhlerlinie

Die Dehnungs-Wöhlerlinie stellt den Zusammenhang zwischen ertragbarer Dehnungsamplitude und Schwingspielzahl bis Versagen dar (**Bild 8-4**).

Die Dehnungs-Wöhlerlinie kann nach Manson-Coffin /8.3/ durch folgende Gleichung beschrieben werden:

$$\varepsilon_{a,t} = \varepsilon_{a,e} + \varepsilon_{a,p} = \frac{\sigma_f'}{E(2N_i)^b} + \varepsilon_f'(2N_i)^c$$

Hierbei sind

- σ_f' der zyklischer Schwingfestigkeitskoeffizient [MPa],
- b zyklischer Schwingfestigkeitsexponent,
- ε_f' zyklischer Duktilitätskoeffizient [m/m],
- c zyklischer Duktilitätsexponent und
- E E-Modul [MPa].

Bei doppelt-logarithmischer Auftragung kann die Lage der Versuchspunkte nach Manson-Coffin durch Geraden approximiert werden.

Bei doppelt-logarithmischer Auftragung von elastischem bzw. plastischem Anteil über der Schwingspielzahl bis zum Versagen kann die Lage der Versuchspunkte durch Geraden angenähert werden (**Bild 8-4**). Diese können durch lineare Regression aus den Versuchsergebnissen berechnet werden. Hierbei ist die Schwingspielzahl die abhängige und die Dehnungsamplitude die unabhängige Variable, d. h. $N = f(\varepsilon)$. Die Koeffizienten der Manson-Coffin-Gleichung beschreiben Lage und Steigung der Geraden. Die Addition der Geraden ergibt die Gesamtdehnungs-Wöhlerlinie.

Die Aufteilung der Gesamtdehnung $\varepsilon_{a,t}$ in einen elastischen Anteil $\varepsilon_{a,e}$ und einen plastischen Anteil $\varepsilon_{a,p}$ erfolgt mit Hilfe des E-Moduls. Der elastische Anteil berechnet sich aus

$$\varepsilon_{a,e} = \frac{\Sigma a}{E}$$

Für Stähle ist der Literaturwert des E-Moduls mit 206 GPa einzusetzen. Dieser kann nicht allein aus dem Zugversuch bestimmt werden.

Der E-Modul wird aus den Umkehrpunkten einer stabilisierten Hysterese ermittelt, die keinen plastischen Dehnungsanteil besitzt.

Bei abweichendem Verhalten kann ein anderer E-Modul gewählt werden; dieser ist zu dokumentieren.

Den plastischen Dehnungsanteil erhält man durch Subtraktion der elastischen von der Gesamtdehnung:

$$\varepsilon_{a,p} = \varepsilon_{a,t} - \varepsilon_{a,e}$$

Zur Bestimmung der Ausgleichsgeraden werden plastische Dehnungen < 0.01 % nicht berücksichtigt. In diesem Fall wird angenommen, dass die elastische Dehnung gleich der Gesamtdehnung ist.

8.6.4 Zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve

Die zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve (**Bild 8-5**) beschreibt das zyklische Werkstoffverhalten. Sie wird nach Ramberg und Osgood /8.4/ durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\varepsilon_{a,t} = \varepsilon_{a,e} + \varepsilon_{a,p} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'} \right)^{1/n'}$$

beschrieben.

Hierbei sind

- K' zyklischer Verfestigungskoeffizient [MPa],
- n' zyklischer Verfestigungsexponent und
- E E-Modul [MPa].

K' entspricht der Spannungsamplitude bei der plastischen Dehnungsamplitude von 100 % und n' beschreibt die Neigung der Geraden bei doppeltlogarithmischer Auftragung (**Bild 8-6**).

Mit Hilfe von Kompatibilitätsbedingungen können K' und n' aus den Koeffizienten der Dehnungs-Wöhlerlinie bestimmt werden:

$$n' = \frac{b}{c}$$

$$K' = \frac{\sigma_f'}{\varepsilon_f^{b/c}}$$

Ein weiterer Kennwert der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve ist die zyklische Streckgrenze $R'_{p0,2}$. Dieser Wert kann sowohl in der grafischen Darstellung der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve (**Bild 8-8**) als auch im Versuchsprotokoll angegeben werden.

8.7 Statistik

Dehnungs-Wöhlerlinien und zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurven werden für 50 % Überlebenswahrscheinlichkeit bestimmt.

Die elastische und plastische Dehnungs-Wöhlerlinie sowie die Gerade der plastischen Dehnung in der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve wird durch lineare Regression im doppelt-logarithmischen Maßstab bestimmt. Bei der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve ist die Spannung die abhängige Größe, bei der Dehnungs-Wöhlerlinie ist die Schwingenspielzahl die abhängige Größe.

8.8 Grafische Darstellung der Ergebnisse

Die standardisierte grafische Darstellung soll aus Gründen der Vergleichbarkeit einheitlich sein.

Achsenbeschriftungen, Skalierung, Kurvendarstellung, Legende, Layout sind in **Bild 8-7** und **Bild 8-8** dargestellt. Übersteigen Werte der Spannungs-Dehnungs-Kurve eine Spannung von 1.000 MPa, so ist abweichend von **Bild 8-9** die Skalierung der Spannungsachse auf 1.500 MPa zu erhöhen.

Zu Vergleichszwecken wird in die grafische Darstellung der zyklischen Spannung-Dehnungs-Kurve auch die zügige Spannung-Dehnungs-Kurve aufgenommen. Diese wird ermittelt aus der Erstbelastungshysterese desjenigen Versuches mit der höchsten Dehnungsamplitude innerhalb einer Versuchsreihe.

8.9 Daten

8.9.1 Aufzeichnung

Zur Versuchsüberwachung hat eine analoge oder digitale Aufzeichnung der örtlichen Dehnung zu erfolgen. Zusätzlich ist eine digitale Aufzeichnung der Last (Spannung), des Kolbenwegs und der Schwingenspielzahl notwendig. Für die digitale Aufzeichnung kompletter Spannungs-Dehnungs-Hysteresen gilt: Die ersten 5 im Bereich $N_f/2 \pm 5\%$ auswertbaren Hysteresen

(Auflösung mindestens 100 Punkte/Hysterese) sind aufzunehmen.

Bei Beanspruchungshorizonten, für die 3 Ergebnisse vorliegen, soll mindestens ein kompletter Hysteresesatz (die ersten 5 Hysteresen und die stabilisierte Hysterese) mit Start in Zugrichtung aufgezeichnet werden. Es sollte versucht werden, dieses Vorgehen auch auf den niedrigsten Beanspruchungshorizonten, die meistens mit Einzelergebnissen belegt sind, anzuwenden. Hierbei sind unterschiedliche Horizonte zulässig.

8.9.2 Rohdaten

Die Rohdaten sind in Tabellenform zu dokumentieren.

8.9.3 Kennwerte

Die bestimmten Kennwerte sind in Tabellenform zu dokumentieren.

8.10 Formelzeichen

A	mm ²	Prüfquerschnitt
B	mm	Breite der Flachprobe im Prüfquerschnitt
b	–	zyklischer Spannungsexponent
c	–	zyklischer Duktilitätsexponent
E	GPa	E-Modul
$\epsilon_{a,e}$	%	elastische Dehnungsamplitude
$\epsilon_{a,p}$	%	plastische Dehnungsamplitude
$\epsilon_{a,t}$	%	Gesamtdehnungsamplitude
ϵ'_f	–	zyklischer Duktilitätskoeffizient
ϵ_{\max}	%	Dehnung am oberen Eckpunkt der Hysterese
ϵ_{\min}	%	Dehnung am unteren Eckpunkt der Hysterese
ϵ_t	%	Dehnungsschwingbreite
F_A	N	Anpresskraft der Schneide
f_{erst}	s ⁻¹	Frequenz Erstbelastung
f_{Versuch}	s ⁻¹	Frequenz Versuch

K^c	MPa	zyklischer Verfestigungskoeffizient
K_t	–	Elastizitätstheoretische Formzahl
l_0	mm	Messlänge zwischen den Schneiden
M_A	Nm	Anzugsmoment der Knickstütze
n^c	–	zyklischer Verfestigungsexponent
N_i	–	Anrisschwingspielzahl (10%-iger Abfall der Spannungsamplitude)
N_B	–	Bruchschwingspielzahl
N_{VE}	–	Schwingspielzahl bei Versuchsende
$P_{\bar{U}}$	%	Überlebenswahrscheinlichkeit
R_ϵ	–	Dehnungsverhältnis
R_m	MPa	Zugfestigkeit
$R_{p0,2}$	MPa	0,2%-Streckgrenze
$R^c_{p0,2}$	MPa	zyklische 0,2%-Streckgrenze
R_σ	–	Spannungsverhältnis
σ_a	MPa	Spannungsamplitude
σ^c_f	MPa	zyklischer Spannungskoeffizient
σ_{max}	MPa	Spannung am oberen Eckpunkt der Hysterese
σ_{min}	MPa	Spannung am unteren Eckpunkt der Hysterese
t	mm	Dicke der Flachprobe
T	K	Prüftemperatur

9 Versagenskennwerte für die Crash- und Umform-Simulation

9.1 Ziel

Die experimentelle Bestimmung der Versagenskennwerte von Stahlblechwerkstoffen ist ein wichtiger Bestandteil der Materialcharakterisierung für CAE-Berechnungen von Blechbauteilen geworden.

Aus diesem Grund wurde dieser Abschnitt in die neue Ausgabe des SEP 1240 aufgenommen.

9.2 Überblick

Dieser Abschnitt spezifiziert experimentelle Prüfungen zur Bestimmung der folgenden Versagenskennwerte: Versagens-Dehnung bei uniaxialem Zug, ebenem Zug und biaxialem Zug. Diese Versagenskennwerte können verwendet werden, um Rissinitiierung für die Crash- oder Umform-Simulation vorherzusagen.

Hinweis: Da noch keine breite Übereinstimmung bezüglich eines Prüfverfahrens zur Bestimmung der Versagens-Dehnung bei Scherbeanspruchung erreicht wurde, wird kein experimenteller Test zur Bestimmung des Versagensverhaltens bei Scherung spezifiziert.

9.3 Allgemeine Versuchsbedingungen

Allgemeine Versuchsbedingungen sind in den Abschnitten 3.1 und 3.2 spezifiziert.

Die Versuchseinrichtung ist nachfolgend für die jeweilige Prüfung spezifiziert.

Ergänzend wird ein System zur zweidimensionalen oder dreidimensionalen digitalen Bildkorrelation (DIC) benötigt. Das DIC-System sollte die Aufnahme von Bildern in einer Frequenz von mindestens 20 Hz ermöglichen und eine entsprechende Auflösung, um eine virtuelle Dehnungsbezugsgröße von 0,2 mm zu ermöglichen

9.4 Proben und -vorbereitung

9.4.1 Probenentnahme

Das Probenmaterial muss aus dem inneren Bereich der Coilbreite entnommen werden. Die Walzrichtung ist zu dokumentieren. (siehe 3.1)

Die Längsachse der Probe ist vorzugsweise senkrecht zur Walzrichtung orientiert. Eine andere Orientierung ist auch zulässig, muss aber dokumentiert werden.

Es wird empfohlen, das Material im BH0-Zustand (170 °C / 20 min, vgl. 3.2.2) für die Probenherstellung zu verwenden. Alternativ kann Material im Anlieferungszustand verwendet werden. Der Zustand des Materials (Temperatur und Aushärtezeit oder Anlieferungszustand) muss dokumentiert werden.

9.4.2 Prüfstückgeometrie

Die Geometrie der Messfläche von drei verschiedenen Typen von Prüfstücken wird in den Abschnitten 9.5 bis 9.7 spezifiziert.

Andere geometrische Merkmale der Prüfstücke, z. B. die Einspannköpfe, können variieren. Einige Beispiele für geeignete Prüfstück-Geometrien sind in Abschnitt 9.5 und 9.6 dargestellt.

9.4.3 Herstellung der Prüfstücke

Das Herstellungsverfahren darf nicht mechanische Eigenschaften und Mikrostruktur des Materials in der Messlänge beeinflussen.

Die Außenkanten der Probe können durch Fräsen, Laserschneiden, Drahterodieren oder Schleifen hergestellt werden. Hinweise zu anderen Geometrieelementen sind beim jeweiligen Probentyp in Abschnitt 9.5 und 9.6 angegeben. Das angewandte Herstellungsverfahren ist zu dokumentieren.

9.4.4 Oberflächenzustand

Da DIC für die Dehnungsbestimmung eingesetzt wird, muss ein Oberflächenmuster (z. B. Sprenkel) auf den zu prüfenden Bereich jedes Prüfstücks aufgebracht werden. Es ist sicherzustellen, dass das Oberflächenmuster während der Prüfung so lange wie möglich verwendbar bleibt.

Bei AISi-beschichteten Stahlblechwerkstoffen muss die AISi-Beschichtung entfernt werden, vorzugsweise durch Sandstrahlen oder Beizen. Alternativ kann die AISi-Beschichtung durch Schleifen entfernt werden, das bei uniaxialen Prüfstücken in Längsrichtung oder bei biaxialen Prüfstücken in Umfangsrichtung durchgeführt werden sollte, um dessen negativen Einfluss auf die lokale Duktilität zu reduzieren. Das angewandte Verfahren (Sandstrahlen, Beizen oder Schleifen sowie dessen Richtung) muss dokumentiert werden.

9.4.5 Anwendung des DIC-Systems

Bei der Anwendung der DIC ist sicherzustellen:

- eine minimale Frequenz von 2 Hz ab dem Beginn der Prüfung bis zur maximalen Kraft,
- eine minimale Frequenz von 20 Hz ab der maximalen Kraft bis zum Bruch des Prüfstücks.

Falls das DIC-System eine Frequenz von 20 Hz nicht erreicht, muss die größtmögliche Frequenz oberhalb 2 Hz angewendet werden.

Eine virtuelle Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ von 0,2 mm ist für die DIC empfohlen. Eine größere virtuelle Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ ist aber auch möglich. Die angewendete virtuelle Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ muss in der Datendatei mit Ergebnissen der Dehnungsanalyse dokumentiert werden.

Die virtuelle Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ muss für die Referenzstufe der DIC zu Beginn der Prüfung bestimmt werden. Anhand dieser Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ werden Dehnungen in allen nachfolgenden Stufen der DIC des jeweiligen Tests bestimmt. Für eine richtige Einstellung der virtuellen Dehnungsbezugsgröße $l_{h_0}^v$ wird auf das Handbuch des verwendeten DIC-Systems verwiesen.

9.4.6 Abbruchkriterium für die Prüfung

Als Abbruchkriterium gilt das Versagen des Prüfstücks durch sichtbaren Riss. Mindestens drei Prüfungen müssen durchgeführt werden. Wenn die Ergebnisse dieser drei Prüfungen eine relative Abweichung von über 5 % der maximalen Kraft und eine relative Abweichung von über 5 % des Weges beim Prüfstückversagen zeigen, müssen zwei zusätzliche Prüfungen durchgeführt werden.

9.5 Uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Loch

9.5.1 Versuchseinrichtung

Die Versuchseinrichtung für den einachsigen Zugversuch nach DIN EN ISO 6892-1 ist in Abschnitt 4.2 spezifiziert.

9.5.2 Typen von Prüfstücken

Das Prüfstück (**Bild 9.5.1**) muss gemäß folgender Spezifikationen hergestellt werden:

- Das Prüfstück muss einen Bereich konstanter Breite von $20 \pm 0,1$ mm entlang der Prüfstück-Längsachse von mindestens 100 mm aufweisen,
- der Bereich konstanter Breite muss ein Loch mit einem Durchmesser von $10 \pm 0,05$ mm in der Mitte enthalten.

Das Loch kann durch Fräsen, Laserschneiden oder Drahterodieren hergestellt werden. Das angewandte Herstellungsverfahren ist zu dokumentieren.

9.5.3 Vermessung der Prüfstücke vor der Prüfung

Die Abmessungen der Prüfstücke (siehe **Bild 9.5.2**) müssen vor der Prüfung gemessen und dokumentiert werden:

- Ausgangsdicken t_{h01} und t_{h02} ,
- Ausgangsbreiten w_{h01} und w_{h02} ,
- Ausgangsdurchmesser des Lochs d_h

Eine Anfangs-Messlänge l_{h0} von 20 mm wird empfohlen. Eine größere Messlänge l_{h0} ist auch möglich. Die Messlänge l_{h0} muss in der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten dokumentiert werden.

9.5.4 Durchführung der Prüfung

Die Prüfungen sind bei Raumtemperatur durchzuführen. Die Prüfgeschwindigkeit muss zwischen 0,003 mm/s und 0,2 mm/s eingestellt werden.

Zeit t , Kraft F und auf l_{h0} bezogener Weg Δl_{n0} müssen kontinuierlich aufgenommen werden.

Das Abbruchkriterium für jede Prüfung ist in 9.4.6 angegeben.

9.5.5 Auswertung und Dokumentation

Entsprechend 9.8 sind für jedes Prüfstück die folgenden Daten zu bestimmen und zu dokumentieren:

- Die Ausgangsabmessungen (siehe **Bild 9.5.2**) in der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten,
- Die DIC-Daten in der Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse,
- Die minimale Dicke auf beiden Bruchflächen (siehe **Bild 9.5.3**) in der Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung.

9.6 Uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Kerben

9.6.1 Versuchseinrichtung

siehe 9.5.1

9.6.2 Typen von Proben (Prüfstücken)

Das Prüfstück muss gemäß folgender Spezifikationen hergestellt werden:

- Das Prüfstück muss einen Bereich konstanter Breite von $20 \pm 0,1$ mm entlang der Prüfstück-Längsachse von mindestens 100 mm aufweisen,
- der Bereich konstanter Breite muss zwei an der Prüfstück-Symmetrieebene gespiegelte halbkreisförmige Kerben mit einem Radius von jeweils $5 \pm 0,05$ mm in der Mitte enthalten.

Die Kerben können durch Fräsen, Laserschneiden oder Drahterodieren hergestellt werden. Das angewandte Herstellungsverfahren ist zu dokumentieren.

9.6.3 Vermessung der Prüfstücke vor der Prüfung

Die Abmessungen der Prüfstücke (siehe **Bild 9.6.2**) müssen vor der Prüfung gemessen und dokumentiert werden:

- Ausgangsdicken t_{h01} und t_{h02} ,
- Ausgangsbreiten w_{h01} und w_{h02} ,
- Ausgangsbreite der Probentaille w_w

Eine Anfangs-Messlänge l_{h0} von 20 mm wird empfohlen. Eine größere Messlänge l_{h0} ist aber auch möglich. Die Messlänge l_{h0} muss in der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten dokumentiert werden.

9.6.4 Durchführung der Prüfung

Die Prüfungen sind bei Raumtemperatur durchzuführen. Die Prüfgeschwindigkeit muss zwischen 0.003 mm/s und 0.2 mm/s eingestellt werden.

Zeit t , Kraft F und auf l_{h0} bezogener Weg Δl_{n0} müssen kontinuierlich aufgenommen werden.

Das Abbruchkriterium für jede Prüfung ist in 9.4.6 angegeben.

9.6.5 Auswertung und Dokumentatio

Entsprechend 9.8 sind die folgenden Daten zu bestimmen und zu dokumentieren:

- Die Ausgangsabmessungen (siehe **Bild 9.6.2**) in der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten,

- Die DIC-Daten in der Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse,
- Die minimale Dicke auf mindestens einer Probe-seite (siehe **Bild 9.6.3**) in der Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung.

9.7 Biaxialer Zugversuch oder hydraulischer Tiefungsversuch

9.7.1 Versuchseinrichtung

Die Versuchseinrichtung ist in DIN EN ISO 12004-2 und DIN EN ISO 16808 spezifiziert.

9.7.2 Typen von Prüfstücken

Das Prüfstück muss gemäß folgender Spezifikationen hergestellt werden:

- Kreis mit einem Durchmesser von mindestens 170 mm oder
- Rechteck mit einer Kantenlänge von mindestens 170 mm.

Fräsen, Laserschneiden, Stanzen, Schleifen oder Scherschneiden können eingesetzt werden. Das angewandte Herstellungsverfahren ist zu dokumentieren.

Die Entfernung der AISi-Beschichtung ist durch Schleifen mithilfe einer rotierenden Schleifscheibe zentriert auf der Probenmitte durchzuführen.

9.7.3 Vermessung der Prüfstücke vor der Prüfung

Die Abmessungen der Prüfstücke müssen vor der Prüfung gemessen und dokumentiert werden:

- Ausgangsdicken t_{b01} in der Prüfstückmitte oder als Mittelwert von mindestens vier Messungen an der Prüfstückkante

9.7.4 Durchführung der Prüfung

Die Prüfungen sind bei Raumtemperatur durchzuführen.

Die Prüfgeschwindigkeit muss bezogen auf den Prüfstück-Pol folgendermaßen definiert werden:

- biaxialer Zugversuch: 1,5 mm/s \pm 0,5 mm/s
- hydraulischer Tiefungsversuch: 0,2 mm/s

Zeit t , Kraft F (biaxialer Zugversuch) oder Druck p (hydraulischer Tiefungsversuch) und die Ver-

schiebung des Prüfstück-Pols Δl_{b0} müssen kontinuierlich aufgenommen werden.

Das Abbruchkriterium für jede Prüfung ist in 9.4.6 angegeben.

9.7.5 Auswertung und Dokumentation

Entsprechend 9.8 sind die folgenden Daten zu bestimmen und zu dokumentieren:

- Die Ausgangsabmessungen (siehe 9.7.3) in der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten,
- Die DIC-Daten in der Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse,
- Die geringste Dicke des Prüfstücks im Kreis mit dem Durchmesser von 20 mm um den Pol des Prüfstück-Doms an mindestens einer der beiden Versagensflächen t_{b11} oder t_{b12} in der Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung.

9.8 Dokumentation der Ergebnisse

Alle numerischen Werte müssen mit mindestens zwei Nachkommastellen dokumentiert werden.

9.8.1 Datendatei mit Kraft-Weg-Daten

Die folgenden Daten sind zu dokumentieren:

- Ausrichtung des Prüfstücks zur Walzrichtung,
- Wärmebehandlungszustand des Materials (Temperatur und Aushärtezeit oder Anlieferungszustand),
- Oberflächenzustand (mit Beschichtung, oder Entfernung der Beschichtung und Verfahren, ggf. Richtung),
- Ausgangsabmessungen,

Für jeden Versuchstyp sind weitere Daten zu dokumentieren.

- Prüfgeschwindigkeit,
- Uniaxialer Zugversuch: (Probe mit Loch oder Kerben) kontinuierlich aufgenommene Daten (Zeit, Kraft, auf l_{n0} bezogener Weg Δl_{b0} in Millimetern)
- Biaxialer Zugversuch oder hydraulischer Tiefungsversuch: kontinuierlich aufgenommene Daten (Zeit, Kraft, Verschiebung des Probenpols Δl_{b0})

Ein Beispiel der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten ist in Abschnitt 12.7 dargestellt.

9.8.2 Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse

Drei Arten von DIC-Daten müssen nach jedem Test dokumentiert werden:

- kontinuierlich aufgenommener Deformationspfad der kritischen Facette mit dem Ursprung des Koordinatensystems im Prüfstück-Schwerpunkt und der y-Achse entlang der Prüfstück-Längsachse,
- Deformationsanalyse des kritischen Bereichs mindestens 3 Facetten x 3 Facetten groß mit der kritischen Facette in der Mitte,
- Bildaufnahme des letzten Einzelbildes vor dem Prüfstückversagen mit dem kompletten, nicht eingespannten Bereich des Prüfstücks.

Anmerkung: Der Deformationspfad ist definiert als die zeitliche Abfolge von Datenpaaren, bestehend aus der wahren Hauptdehnung und der wahren Nebendehnung in der Blechebene.

Der kontinuierlich aufgenommene Deformationspfad der kritischen Facette muss vom Beginn der Prüfung bis zum Prüfstückversagen dokumentiert werden. Als kritische Facette wird Facette mit der größten von-Mises-Vergleichsdehnung des letzten Einzelbildes vor dem Prüfstückversagen definiert.

Folgende Daten werden aufgezeichnet und dokumentiert:

- Zeit t ,
- x-Koordinate,
- y-Koordinate,
- z-Koordinate,
- von-Mises-Vergleichsdehnung $\bar{\epsilon}$,
- wahre Hauptdehnung in der Blechebene ϵ_I
- wahre Nebendehnung in der Blechebene ϵ_{II} .

Die Deformationsanalyse des kritischen Bereichs für ausgewählte Einzelbilder muss für mindestens drei Einzelbilder vor der maximalen Kraft, mindestens drei Einzelbilder nach der maximalen Kraft und mindestens fünf Einzelbilder vor dem Prüfstückversagen dokumentiert werden.

Als kritischer Bereich wird der Bereich mindestens 3 Facetten x 3 Facetten groß mit der kritischen Facette in der Mitte definiert. Die Nummerierung der Facetten des kritischen Bereichs erfolgt beginnend von der Facette oben links zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten.

Ein Beispiel der Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse ist in Abschnitt 12.9 dargestellt.

9.8.3 Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung

Die Dicken des Prüfstücks (siehe Skizze beim jeweiligen Versuchstyp) müssen nach jeder Prüfung gemessen und dokumentiert werden. Die Dickenmessung muss an mindestens einer Hälfte des gebrochenen Prüfstücks durchgeführt werden.

Ein Beispiel der Datendatei mit Kraft-Weg-Daten ist in Abschnitt 10.3 dargestellt.

9.9 Symbole und Abkürzungen

Δl_{h0}	mm	auf die Anfangs-Messlänge l_{h0} bezogener Weg
Δl_{n0}	mm	auf die Messlänge l_{n0} bezogener Weg
Δl_{b0}	mm	Verschiebung des Probenpols
$\bar{\epsilon}$	–	Von-Mises-Vergleichsdehnung
ϵ_I	–	wahre Hauptdehnung in der Blechebene
ϵ_{II}	–	wahre Nebendehnung in der Blechebene
d_h	mm	Ausgangsdurchmesser des Lochs der Probe mit Loch
F	N	Kraft
l_{h0}	mm	Anfangs-Messlänge der Probe mit Loch zur taktilen oder optischen Bestimmung des Wegs
l_{n0}	mm	Anfangs-Messlänge der Probe mit Kerben zur taktilen oder optischen Bestimmung des Wegs
l_{b0}^v	mm	virtuelle Dehnungsbezugsgröße der Probe für den biaxialen Zugversuch oder hydraulischen Tiefungsversuch
l_{h0}^v	mm	virtuelle Dehnungsbezugsgröße der Probe mit Loch
l_{n0}^v	mm	virtuelle Dehnungsbezugsgröße der Probe mit Kerben
n	–	Einzelbild-Nummer
p	bar	hydraulischer Druck
t	s	Zeit

t_{b01}	mm	Ausgangsdicke der Probe für den biaxialen Zugversuch oder hydraulischen Tiefungsversuch
t_{b11}	mm	Dicke der Probe für den biaxialen Zugversuch oder hydraulischen Tiefungsversuch nach der Prüfung an Versagensfläche 1
t_{b12}	mm	Dicke der Probe für den biaxialen Zugversuch oder hydraulischen Tiefungsversuch nach der Prüfung an Versagensfläche 2
t_{h01}	mm	Ausgangsdicke der Probe mit Loch an Stelle 1
t_{h02}	mm	Ausgangsdicke der Probe mit Loch an Stelle 2
t_{h11}	mm	Dicke der Probe mit Loch nach der Prüfung an Stelle 1 auf Versagensfläche 1
t_{h12}	mm	Dicke der Probe mit Loch nach der Prüfung an Stelle 2 auf Versagensfläche 1
t_{h13}	mm	Dicke der Probe mit Loch nach der Prüfung an Stelle 1 auf Versagensfläche 2
t_{h14}	mm	Dicke der Probe mit Loch nach der Prüfung an Stelle 2 auf Versagensfläche 2
t_{n01}	mm	Ausgangsdicke der Probe mit Kerben an definierter Stelle
t_{n11}	mm	Dicke der Probe mit Kerben nach der Prüfung an Stelle 1 auf Versagensfläche 1
t_{n12}	mm	Dicke der Probe mit Kerben nach der Prüfung an Stelle 1 auf Versagensfläche 2
w_{h01}	mm	Ausgangsbreite der Probe mit Loch an Stelle 1
w_{h02}	mm	Ausgangsbreite der Probe mit Loch an Stelle 2
w_{n01}	mm	Ausgangsbreite der Probe mit Kerben, gemessen an Kerb 1
w_{n02}	mm	Ausgangsbreite der Probe mit Kerben, gemessen an Kerb 2
w_w	mm	Ausgangsbreite der Probe mit Kerben an der Taille
x	mm	x-Koordinate
y	mm	y-Koordinate
z	mm	z-Koordinate

10 Referenzen

10.1 Literatur

- /5.1/ Hesse, B.; Sonne, H.-M.; Robiller, G. Verfahren zur Steigungsbestimmung der Hookeschen Geraden (E-Modul) im rechnergesteuerten Zugversuch, Thyssen Techn. Ber. (1994)1, 115-121
- /8.1/ Marmorierstift, Hersteller: Fa. Tyrolit, Bezeichnung: 52MS, Spez. C80-BE15, Durchmesser 50 mm
- /8.2/ Lieferant: Fa. Resch; Bezeichnung DKCM
- /8.3/ Manson, S. S. Fatigue: A Complex Subject – Some Simple Approximations Experimental Mechanics, Vol. 5, 7, 1965, pp. 193–226
- /8.4/ Ramberg, W., Osgood, W.R. Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters Technical Note No. 902, NACA, 1943

10.2 Normative Verweisungen

Allgemein

DIN EN ISO 21920-1 Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Profile – Teil 1: Angabe der Oberflächenbeschaffenheit

DIN EN ISO 6892-1 Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur

DIN EN ISO 6892-2 Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur

DIN EN ISO 6892-3 Metallische Werkstoffe – Zugversuch – Teil 3: Prüfverfahren bei tiefen Temperaturen

DIN EN ISO 10113 Metallische Werkstoffe – Blech und Band – Bestimmung der senkrechten Anisotropie (r-Wert)

DIN EN ISO 10275 Metallische Werkstoffe – Blech und Band – Bestimmung des Verfestigungsexponenten im Zugversuch (n-Wert)

DIN EN ISO 643 Stahl – Mikrophotographische Bestimmung der erkennbaren Korngröße

Abschnitt 5

DIN EN 10325 Stahl – Bestimmung der Streckgrenzenerhöhung durch Wärmebehandlung (Bake-Hardening-Index)

DIN EN ISO 16808 Metallische Werkstoffe – Blech und Band – Bestimmung der biaxialen Spannung/Dehnung-Kurve durch einen hydraulischen Tiefungsversuch mit optischen Messsystemen

SEP 1235 Bestimmung des Elastizitätsmoduls an Stahl im Zugversuch bei Raumtemperatur

Abschnitt 6

DIN EN ISO 12004-1 Metallische Werkstoffe – Bleche und Bänder – Bestimmung der Grenzformänderungskurve – Teil 1: Messung und Anwendung von Grenzformänderungsdiagrammen in Presswerken

DIN EN ISO 12004-2 – Teil 2: Messung und Anwendung von Grenzformänderungsdiagrammen im Labor

Abschnitt 7

DIN EN ISO 26203-1 Metallische Werkstoffe – Zugversuch bei hohen Dehngeschwindigkeiten – Teil 1: Elastische Stoßwellentechnik

SEP 1230 Ermittlung mechanischer Eigenschaften an Blechwerkstoffen bei hohen Dehnraten im Hochgeschwindigkeitszugversuch

Abschnitt 8

ISO 12106 (Titel übersetzt) Metallische Werkstoffe – Ermüdungsprüfung – Einachsige Prüfung mit der dehnungskontrollierten Methode

DIN EN ISO 9513 Metallische Werkstoffe – Kalibrierung von Längenänderungs-Messeinrichtungen für die Prüfung mit einachsiger Beanspruchung

11 Mitarbeit

Seit der ersten Ausgabe haben die folgenden Unternehmen mitgearbeitet:

ArcelorMittal, Maizières

ThyssenKrupp Nirosta GmbH

Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH

thyssenkrupp Steel Europe AG

voestalpine Stahl GmbH

SSAB Swedish Steel

TATA Steel Europe

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (BAM)

Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK) der RWTH Aachen, Lehr- und Forschungsgebiet Werkstoffkunde LFW) der RWTH Aachen

Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) der TU Clausthal

Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF)

Audi AG

BMW Group

Mercedes-Benz Group AG

Ford-Werke GmbH

Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft

Wilhelm Karmann GmbH (bis 2009)

Volkswagen Aktiengesellschaft

Opel Automobile GmbH – ab 2019 Stellantis

Faurecia Autositze GmbH

Gestamp Autotechn Engineering Deutschland

Kirchhoff Automotive Deutschland GmbH

MAGNA-Cosma Engineering Europe

12 Beispiele standardisierter Ergebnis – Datenfiles (Datenheader)

Der Kurzname im File-Namen wird der aktuellen. Norm angepasst. Der Kurzname im Datenheader wird nicht aktualisiert.

12.1 Chemische Analyse

WERKSTOFF_NORM_NAME	=	DC04
HERSTELLER	=	SZAG
WERKSTOFFNUMMER_NORM	=	1.0338
MATERIALNAME	=	ST14
WERKSTOFF_NORM	=	DIN EN 10130
BEMERKUNG	=	
BLECHDICKE <mm>	=	1.00
C <%>	=	0.025
Si <%>	=	0.012
Mn <%>	=	0.19
P <%>	=	0.008
S <%>	=	0.006
Al <%>	=	0.054
Cr <%>	=	0.022
Ni <%>	=	0.034
Mo <%>	=	0.003
Cu <%>	=	0.013
V <%>	=	0.003
Nb <%>	=	0.001
Ti <%>	=	0.002
Sn <%>	=	0.01
N <%>	=	0.005
DRESSIERUNG	=	ja
DRESSIERGRAD <%>	=	1.5
GLUEHART	=	D
OBERFLAECHEZUSTAND	=	FEUERVERZINKT

12.2 Plastische Kennwerte des dynamischen Zugversuchs

WERKSTOFF_NORM_NAME	=	DC04
WERKSTOFFNUMMER_NORM	=	1.0338
MATERIALNAME	=	ST14
PRUEFUNG	=	HOCHGESCHWINDIGKEIT
PROBENIDENTNUMMER	=	H_DC04_U_L_2_Q_W1_296_20_a
PROBENGOMETRIE	=	IEHK-ZUGPROBE 20mm
ENTNAHMERICHTUNG	=	QUER
VORVERFORMUNG_SOLL <%>	=	2
VORVERFORMUNG_IST <%>	=	2.1
VORVERFORMUNGSRICHTUNG	=	LAENGS
WAERMEBEHANDLUNG	=	W170
PROBENBREITE_IST <mm>	=	10.01
PROBENDICKE_IST <mm>	=	0.98
MESSLAENGE_IST <mm>	=	20.0
PRUEFTEMPERATUR_SOLL <K>	=	296
PRUEFGESCHWINDIGKEIT_SOLL <mm/s>	=	400
PRUEFGESCHWINDIGKEIT_IST <mm/s>	=	390
DEHNRATE_SOLL <1/s>	=	20.0
DEHNRATE_IST <1/s>	=	19.5
AUFTRAG	=	

PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj> = 27.11.1998
 PRUEFER = Name
 PRUEFSTELLE = Ort
 BEMERKUNG =
 DATEN =
 ZEIT <s>;KRAFT <N>;WEG <mm>
 0;0;0
 1;3;0.01

12.3 Plastische Kennwerte

WERKSTOFF_NORM_NAME = DC04
 WERKSTOFFNUMMER_NORM = 1.0338
 MATERIALNAME = ST14
 PRUEFUNG = FLIESSKURVE
 PROBENIDENTNUMMER = F_DC04_U_L_2_Q_O_373_c
 PROBENGEOMETRIE = DIN EN 10002-1 Form 2
 ENTNAHMERICHTUNG = QUER
 VORVERFORMUNG_SOLL <%> = 2
 VORVERFORMUNG_IST <%> = 2.1
 VORVERFORMUNGSRICHTUNG = LAENGS
 WAERMEBEHANDLUNG = A
 PROBENBREITE_IST <mm> = 20.021
 PROBENDICKE_IST <mm> = 0.98
 MESSLAENGE_IST <mm> = 80.0
 PRUEFTEMPERATUR_SOLL <K> = 373
 PRUEFGESCHWINDIGKEIT_SOLL <mm/s> = 0.32
 PRUEFGESCHWINDIGKEIT_IST <mm/s> = 0.32
 DEHNRATE_SOLL <1/s> = 0.004
 DEHNRATE_IST <1/s> = 0.004
 AUFTRAG =
 PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj> = 11.11.1998
 PRUEFER = Name
 PRUEFSTELLE = Ort
 BEMERKUNG =
 DATEN =
 ZEIT <s>;KRAFT <N>; WEG <mm>; BREITENAENDERUNG <mm>
 0;0;0;0
 1;3;0.01;0.001

12.4 Elastische Kennwerte

WERKSTOFF_NORM_NAME = DC04
 WERKSTOFFNUMMER_NORM = 1.0338
 MATERIALNAME = ST14
 PRUEFUNG = ELASTISCH
 PROBENIDENTNUMMER = E_DC04_U_L_5_Q_W1_296_c
 PROBENGEOMETRIE = DIN EN 10002-1 FORM 2
 ENTNAHMERICHTUNG = QUER
 VORVERFORMUNG_SOLL <%> = 5
 VORVERFORMUNG_IST <%> = 4.8
 VORVERFORMUNGSRICHTUNG = LAENGS
 WAERMEBEHANDLUNG = W170
 PROBENBREITE_IST <mm> = 19.901
 PROBENDICKE_IST <mm> = 0.98
 MESSLAENGE_IST <mm> = 80.5

```

PRUEFTEMPERATUR_SOLL <K>           = 296
PRUEFGESCHWINDIGKEIT_SOLL <m/s>     = 0.00032
AUFTRAG                             =
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>             = 27.11.1998
PRUEFER                              = Name
PRUEFSTELLE                          = Ort
BEMERKUNG                            =
DATEN                                 =
ZEIT <s>;KRAFT <N>;WEG <mm>;BREITE <mm>
0;0;0;19.901
1;3;0.01;19.901
.....
    
```

12.5 Grenzformänderungsschaubild

```

WERKSTOFF_NORM_NAME                 = DC04
WERKSTOFFNUMMER_NORM                = 1.0338
MATERIALNAME                        = ST14
PRUEFUNG                            = GFS
PROBENIDENTNUMMER                   = G_DC04_U_L_0_O_296_a
PROBENGEOMETRIE                     = VDEH-Richtlinie
ENTNAHMERICHTUNG                    = LAENGS
VORVERFORMUNG_SOLL <%>              = 0
WAERMEBEHANDLUNG                    = O
PROBENDICKE_IST <mm>                = 0.98
PRUEFTEMPERATUR_SOLL <K>           = 296
PRUEFGESCHWINDIGKEIT_SOLL <mm/s>   = 1
PRUEFGESCHWINDIGKEIT_IST <mm/s>    = 1.2
AUFTRAG                             =
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>             = 27.11.1998
PRUEFER                              = Name
PRUEFSTELLE                          = Ort
BEMERKUNG                            =
DATEN                                 =
GROSSE_FORMAENDERUNG <1>;KLEINE_FORMAENDERUNG <1>
0.2;0.1
PROBENIDENTNUMMER                   = G_DC04_U_L_0_O_296_a
    
```

12.6 Zyklische Kennwerte

```

$ Erfassungsschema fuer Daten aus dehnungsgesteuerten Schwingversuchen
$ zur Ermittlung zyklischer Werkstoffkennwerte
$
$ ++++++
$
$ * * * * * Anmerkungen zum Ausfuellen des Headers * * * * *
$ Die vorgegebenen Abkuerzungen muessen eingehalten werden.
$ Die Reihenfolge der Zeilen ist festgelegt.
$ * * * * *
$
$ BEGINN_HEADER_PRUEFUNG
LOAD_FORMAT                         =
$
AUFTRAG                             =
PRUEFDATUM <tt.mm.jjjj>             = 27.11.1998
$
    
```

\$ Pruefdatum = Ende der Versuchsreihe
 \$
 PRUEFER = Name
 PRUEFSTELLE = Ort
 WERKSTOFF_NORM_NAME = DC04
 WERKSTOFFNUMMER_NORM = 1.0338
 MATERIALNAME = St14
 HERSTELLER = Voest Alpine
 PRUEFUNG = zyklisch mechanisch
 PROBENIDENTNUMMER = Z_DC04_U_L_2_L_W1_296_a
 VERSUCHSREIHE_NR = 123
 PROBENGEOMETRIE = zyklische Kennwerte Feinblech, Richtlinie
 Zusammenarbeit deutsche Automobilindustrie/VdEh
 PROBENBREITE_SOLL <mm> = 30
 PROBENDICKE_SOLL <mm> = 1.5
 MESSLAENGE_SOLL <mm> = 80
 KANTENBEARBEITUNG = V
 \$
 \$ V = Kanten verrundet
 \$ U = Kanten unbearbeitet
 \$
 OBERFLAECHE_KANTE = P
 OBERFLAECHE_PROBE = U
 \$
 \$ P = poliert
 \$ G = geschliffen
 \$ U = unbearbeitet
 \$
 ENTNAHMERICHTUNG = LAENGS
 \$
 \$ quer = 90 Grad zur Walzrichtung, laengs = 0, diagonal = 45
 \$
 VORVERFORMUNG_SOLL <%> = 2
 VORVERFORMUNG_IST <%> = 1.8
 \$
 \$ 0, 2, 5, 10, 15 eingeben
 \$
 VORVERFORMUNGSRICHTUNG = LAENGS
 \$
 \$ quer = 90 Grad zur Walzrichtung, laengs = 0, diagonal = 45
 \$
 WAERMEBEHANDLUNG = W170
 \$
 \$ A fuer Anlieferungszustand, W170 fuer bake hardening
 \$
 PRUEFTEMPERATUR_SOLL <K> = 296
 \$
 \$ 296, 233 oder 373 eingeben
 \$
 SCHNEIDENANPRESSKRAFT <N> = 2
 ANZUGSMOMENT_KNICKSTUETZE <Nm> = 0.05
 DEHNUNGSVERHAELTNIS <1> = -1
 ANZAHL_MESSUNGEN = 12
 \$

BEGINN_HEADER_MESSUNG
 PROBENIDENTNUMMER;PROBENBREITE_IST <mm>;PROBENDICKE_IST
 <mm>;FREQUENZ_IST_ERSTBELASTUNG <1/s>;FREQUENZ_IST_VERSUCH
 <1/s>;FREQUENZ_SOLL_VERSUCH;VERSUCHSBEGINN;SCHWINGSPIELE_VERSUCHSENDE
 <1>;SCHWINGSPIELE_KRAFTABFALL <1>;RISSLAGE;DEHNUNGSAMPLITUDE_TOT
 <%>;DEHNUNGSAMPLITUDE_PLA <%>;DEHNUNGSAMPLITUDE_ELA <%>;SPANNUNGS-
 AMPLITUDE
 <MPa>;MAX_SPANNUNG_SMAX <MPa>;MESSDATEI
 Z15L01_001Ya;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Ya.hys
 Z15L01_001Yb;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yb.hys
 Z15L01_001Yc;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yc.hys
 Z15L01_001Yd;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yd.hys
 Z15L01_001Ye;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Ye.hys
 Z15L01_001Yf;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yf.hys
 Z15L01_001Yg;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yg.hys
 Z15L01_001Yh;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yh.hys
 Z15L01_001Yi;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yi.hys
 Z15L01_001Yj;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yj.hys
 Z15L01_001Yk;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yk.hys
 Z15L01_001Yl;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yl.hys
 \$
 \$ Versuchsbeginn in Zugrichtung = Z, in Druckrichtung = D
 \$
 \$ Risslagen: A = Walzoberflaeche
 \$ B = Schnittkante zwischen den Schneiden
 \$ C = Schnittkante ausserhalb der Schneiden
 \$ D = unter den Schneiden
 \$
 \$
 BEGINN_AUSWERTUNG_PRUEFUNG
 AUSWERTEVERFAHREN = Richtlinie Zusammenarbeit deutsche Automob-
 ilindustrie/VdEh
 E_MODUL <MPa> = 206000
 \$
 \$ E-Modul, der für die Bestimmung des elastischen und plastischen Dehnungsanteils
 verwendet wird
 \$
 VERFESTIGUNGSKOEFFIZIENT_K <MPa> = 1348
 VERFESTIGUNGSEXPONENT_N <1> = 0.0175
 SCHWINGFESTIGKEITSKOEFFIZIENT_SF <MPa> = 1.4540
 SCHWINGFESTIGKEITSEXPONENT_B <1> = 1.5078
 DUKTILITAETSKOEFFIZIENT_EF <1> = -0.075
 DUKTILITAETSEXPONENT_C <1> = -0.716

\$ BEISPIELHEADER der Hysterese Datei: Z15L01_001Ya.hys

\$-----

PROBENIDENTNUMMER = Z15L01_001Ya

\$ Die Probenidentnummer muss identisch sein mit der in der Pruefdatendatei

\$ Sie dient zum Konsistenzcheck des Data Loaders.

\$

MESSPUNKTE_HYSTERESE_1 = 400

MESSPUNKTE_HYSTERESE_2 = 400

MESSPUNKTE_HYSTERESE_3 = 400

MESSPUNKTE_HYSTERESE_4 = 400

MESSPUNKTE_HYSTERESE_5 = 400

MESSPUNKTE_HYSTERESE_6 = 400

BEGINN_HYSTERESE_ANFANG

\$ Messdaten der ersten 5 Hysteresen

DATEN =

SPANNUNG <MPa>; DEHNUNG <%>

0.0;0.0

10.387;-6.17E-02

.....

\$ Messdaten der Hysterese bei halber Anrisschwingspielzahl

\$

BEGINN_HYSTERESE_AUSWERTUNG

DATEN =

SPANNUNG <MPa>; DEHNUNG <%>

0.0;0.0

10.387;-6.17E-02

.....

\$Z15L01Y.cyc

\$

12.7 Datendatei mit Kraft-Weg-Daten für den uniaxialen Zugversuch an der Probe mit Loch

Werkstoffbezeichnung = CR1
 Werkstoffspezifikation = VDA 239-100
 Oberflächenbehandlung = Schleifen
 Oberflächenbehandlungsrichtung = entlang der Probenlänge
 Wärmebehandlungstemperatur <°C> = 170
 Wärmebehandlungsdauer <min> = 20
 Prüfverfahren = uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Loch
 Datum der Prüfung = TT.MM.JJJJ
 Ort der Prüfung = Ort
 Prüfer = Name
 Bemerkung = ...
 Probenidentifikationsnummer = XYZ
 Prüfstückgeometrie = Probe mit Loch
 Prüfstückausrichtung = senkrecht zur Walzrichtung
 nominelle Prüftemperatur <K> = 295.35
 reale Prüftemperatur <K> = 295.35
 nominelle Prüfgeschwindigkeit <mm/s> = 0.32
 reale Prüfgeschwindigkeit <mm/s> = 0.32
 Ausgangsdicke des Prüfstücks t_{h01} <mm> = 1.41
 Ausgangsdicke des Prüfstücks t_{h02} <mm> = 1.41

Ausgangsbreite des Prüfstücks w_{h01} <mm> = 4.99
 Ausgangsbreite des Prüfstücks w_{h02} <mm> = 4.99
 Ausgangsdurchmesser des Lochs d_h <mm> = 10.02
 Dehnungsbezugsgröße l_{h0} <mm> = 20.01
 Kontinuierlich aufgenommene Daten
 Zeit t <s>; Kraft F <N>;
 Verschiebung Δl_{h0} <mm>
 0.01; 0.01; 0.01

12.8 Datendatei mit Ergebnissen der Deformationsanalyse für den Zugversuch an der Probe mit Loch

Werkstoffbezeichnung = CR1
 Werkstoffspezifikation = VDA 239-100
 Oberflächenbehandlung = Schleifen
 Oberflächenbehandlungsrichtung = entlang der Probenlänge
 Wärmebehandlungstemperatur <°C> = 170
 Wärmebehandlungsdauer <min> = 20
 Prüfverfahren = uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Loch
 Datum der Prüfung = TT.MM.JJJJ
 Ort der Prüfung = Ort
 Prüfer = Name
 Bemerkung = ...
 Probenidentifikationsnummer = XYZ
 Prüfstückgeometrie = Probe mit Loch
 Prüfstückausrichtung = senkrecht zur Walzrichtung
 nominelle Prüftemperatur <K> = 295.35
 reale Prüftemperatur <K> = 295.35
 nominelle Prüfgeschwindigkeit <mm/s> = 0.32
 reale Prüfgeschwindigkeit <mm/s> = 0.32
 Virtuelle Dehnungsbezugsgröße <mm> = 0.01

Kontinuierlich aufgenommener Deformationspfad der kritischen Facette

Zeit t <s>; x-Koordinate x <mm>;
 y-Koordinate y <mm>; z-Koordinate z <mm>; von-Mises-Vergleichsdehnung $\bar{\epsilon}$ <>;
 wahre Hauptdehnung in der Blechebene ϵ_I <>; wahre Nebendehnung in der Blechebene ϵ_{II} <>
 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01

Deformationsanalyse des kritischen Bereichs für ausgewählte Einzelbilder vor und nach der maximalen Kraft

Facettennummer n <>; Zeit t <s>;
 x-Koordinate x <mm>; y-Koordinate y <mm>; z-Koordinate z <mm>; von-Mises-Vergleichsdehnung $\bar{\epsilon}$ <>; wahre Hauptdehnung in der Blechebene ϵ_I <>; wahre Nebendehnung in der Blechebene ϵ_{II} <>
 1.00; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01

Deformationsanalyse des kritischen Bereichs für ausgewählte Einzelbilder vor dem Probenversagen

Facettennummer n <>; Zeit t <mm>;
 x-Koordinate x <mm>; y-Koordinate y <mm>; z-Koordinate z <mm>; von-Mises-Vergleichsdehnung $\bar{\epsilon}$ <>; wahre Hauptdehnung in der Blechebene ϵ_I <>; wahre Nebendehnung in der Blechebene ϵ_{II} <>

12.9 Datendatei mit Ergebnissen der Dickenmessung für den uniaxialen Zugversuch an der Probe mit Loch

Werkstoffbezeichnung	=	CR1
Werkstoffspezifikation	=	VDA 239-100
Oberflächenbehandlung	=	Schleifen
Oberflächenbehandlungsrichtung	=	entlang der Probenlänge
Wärmebehandlungstemperatur <°C>	=	170
Wärmebehandlungsdauer <min>	=	20
Prüfung	=	uniaxialer Zugversuch an der Probe mit Loch
Datum der Prüfung	=	TT.MM.JJJ
Ort der Prüfung	=	Ort
Prüfer	=	Name
Bemerkung	=	...
Probenidentifikationsnummer	=	XYZ
Prüfstückgeometrie	=	Probe mit Loch
Prüfstückausrichtung	=	senkrecht zur Walzrichtung
nominelle Prüftemperatur <K>	=	295.35
reale Prüftemperatur <K>	=	295.35
nominelle Prüfgeschwindigkeit <mm/s>	=	0.32
reale Prüfgeschwindigkeit <mm/s>	=	0.32
Ausgangsdicke des Prüfstücks t_{h01} <mm>	=	1.41
Ausgangsdicke des Prüfstücks t_{h02} <mm>	=	1.41
Ausgangsbreite des Prüfstücks w_{h01} <mm>	=	4.99
Ausgangsbreite des Prüfstücks w_{h02} <mm>	=	4.99
Ausgangsdurchmesser des Lochs d_h <mm>	=	10.02
Dicke der des Prüfstücks nach dem Versagen t_{h11} <mm>	=	0.41
Dicke des Prüfstücks nach dem Versagen t_{h12} <mm>	=	0.41
Dicke des Prüfstücks nach dem Versagen t_{h21} <mm>	=	0.41
Dicke des Prüfstücks nach dem Versagen t_{t22} <mm>	=	0.41

13 Bilder und Tabellen

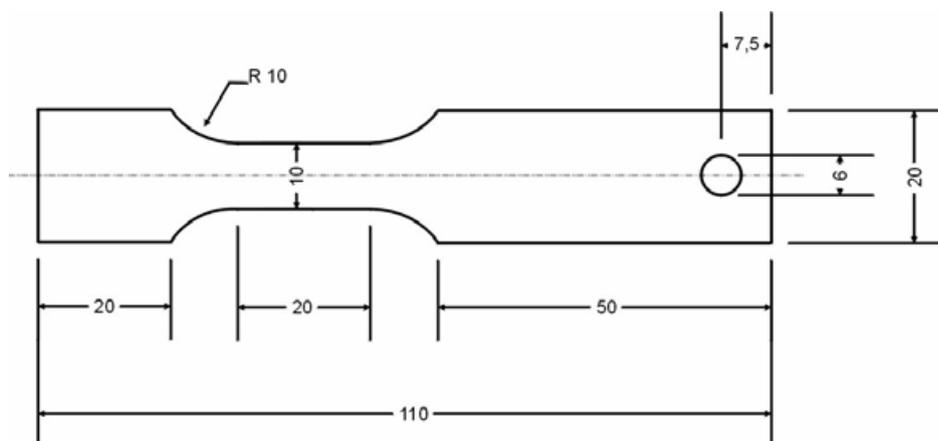


Bild 7-1. Bevorzugte Probenform für den Hochgeschwindigkeitszugversuch

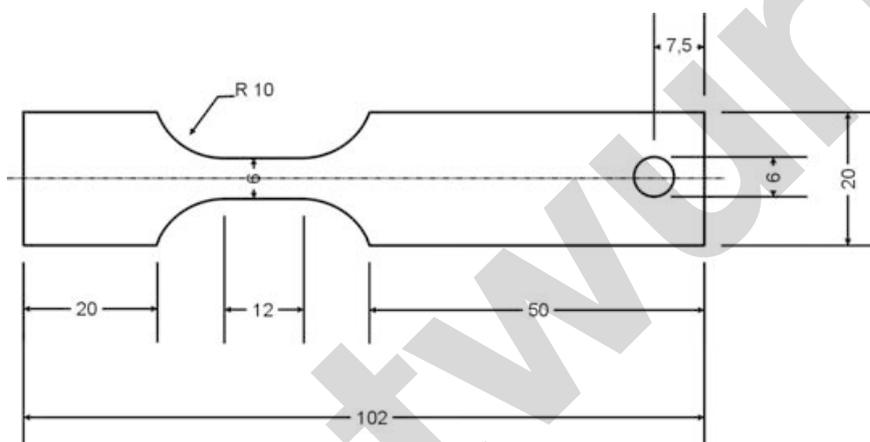
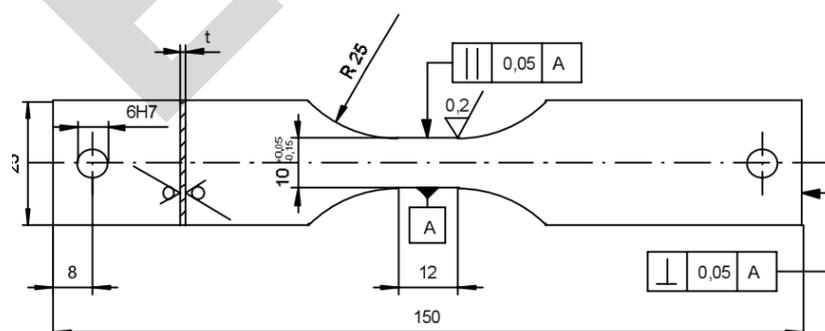
Bild 7-2. Probenform mit reduzierter Breite (b₀) für den Hochgeschwindigkeitszugversuch

Bild 8-1. Prüfstück-Geometrie für zyklische Versuche

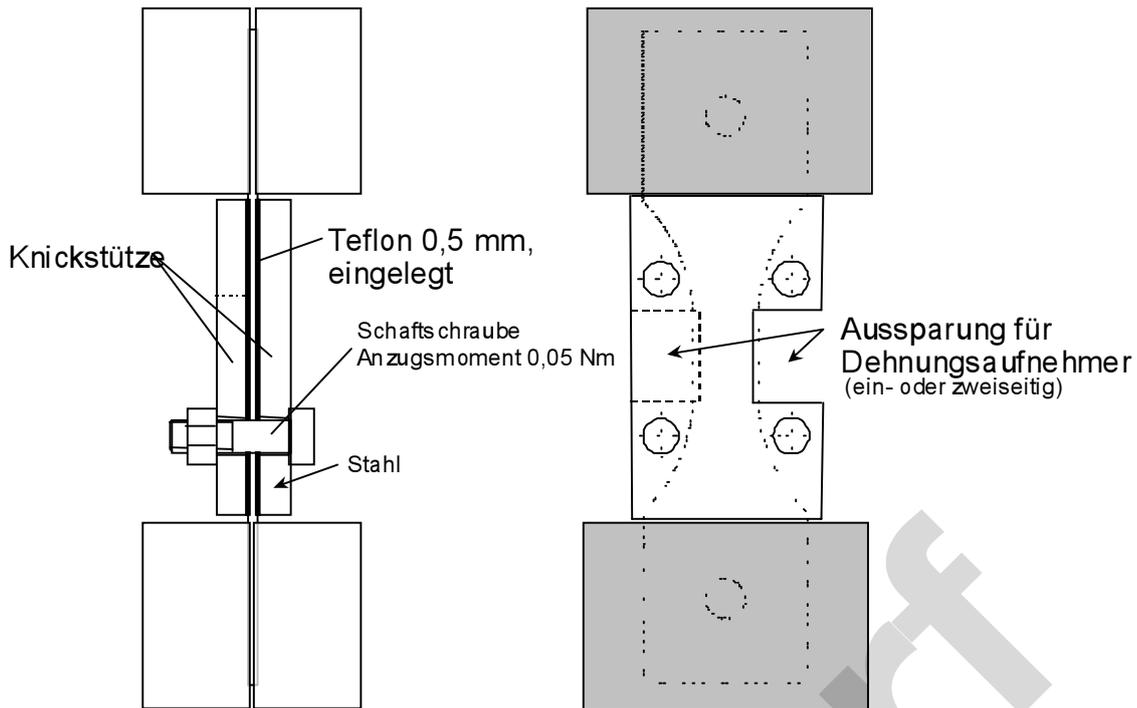


Bild 8-2. Knickstütze

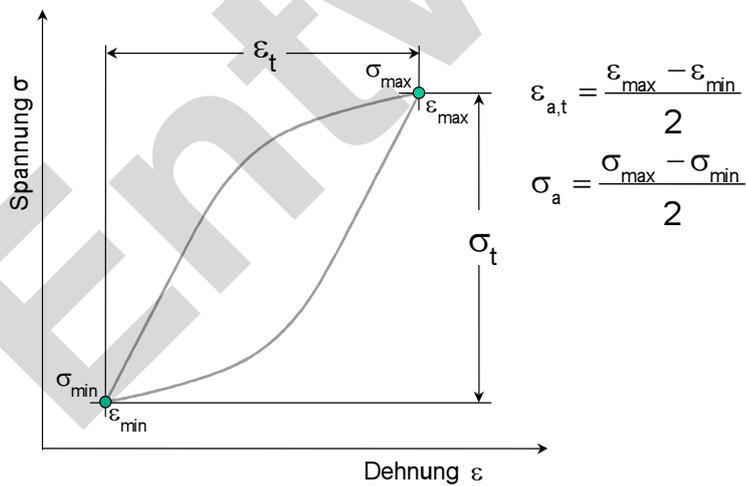


Bild 8-3. Bestimmung der Gesamtdehnungs- und -spannungsamplitude

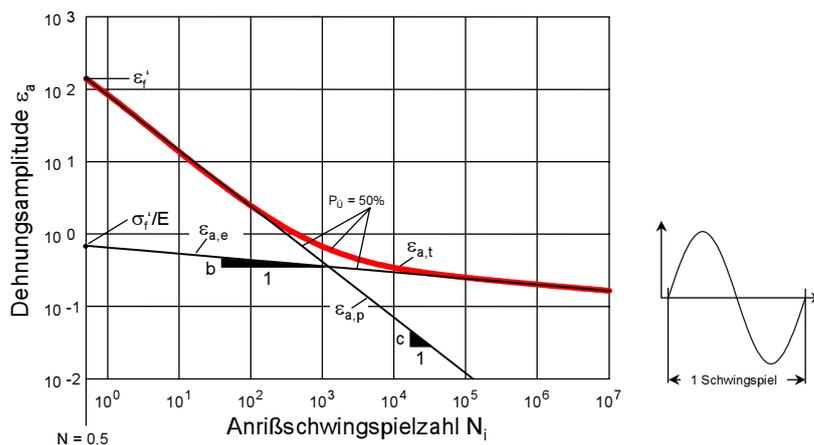
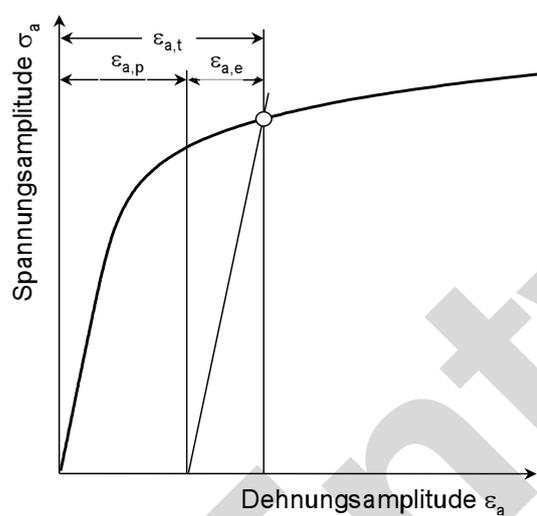


Bild 8-4. Funktionale Darstellung der Dehnungs-Wöhlerlinie



Zyklische Spannungs-Dehnungs-Kurve nach Ramberg-Osgood:

$$\epsilon_{a,t} = \epsilon_{a,e} + \epsilon_{a,p}$$

$$\epsilon_{a,t} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'}\right)^{1/n'}$$

Koeffizienten:

E-Modul [GPa]

K' = zyklischer Verfestigungskoeffizient [MPa]

n' = zyklischer Verfestigungsexponent

Bild 8-5. Funktionale Darstellung der zyklischen Spannung-Dehnung-Kurve

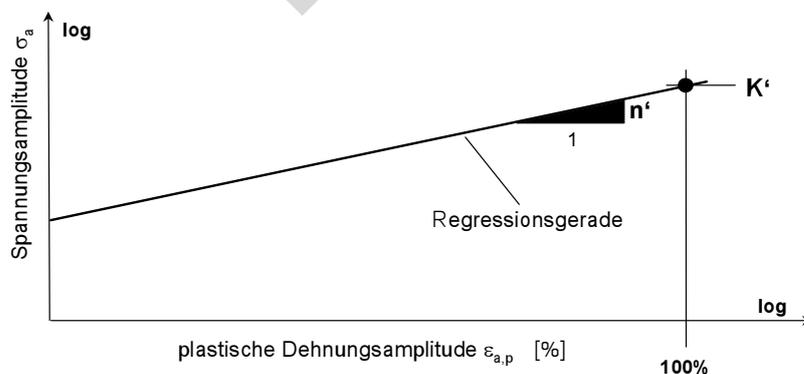


Bild 8-6. Koeffizienten der zyklischen Spannung-Dehnungs-Kurve

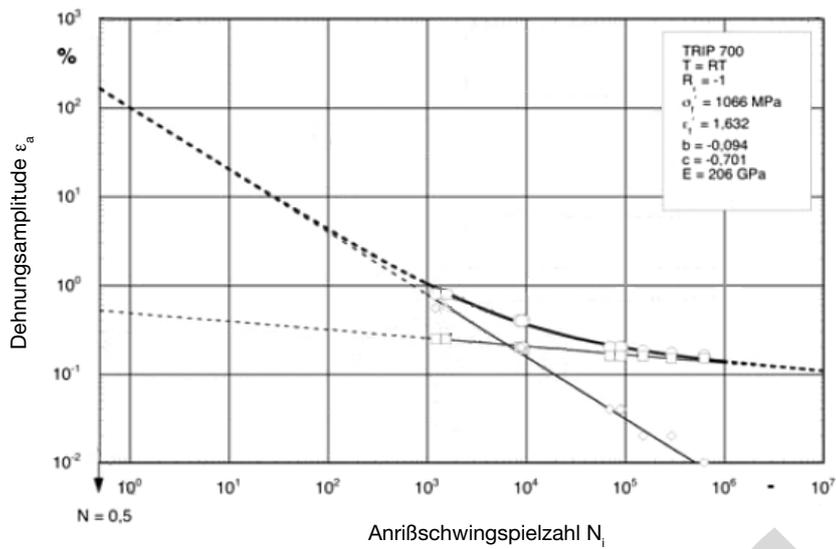


Bild 8-7. Grafische Darstellung der Dehnungs-Wöhlerlinie

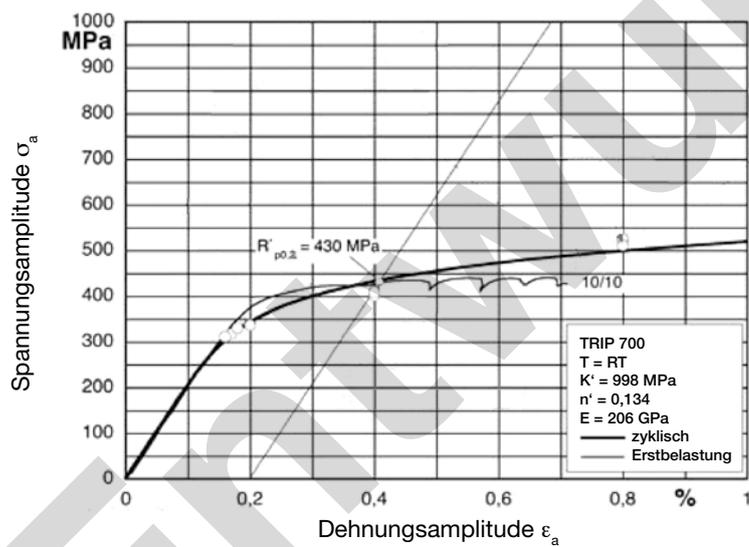
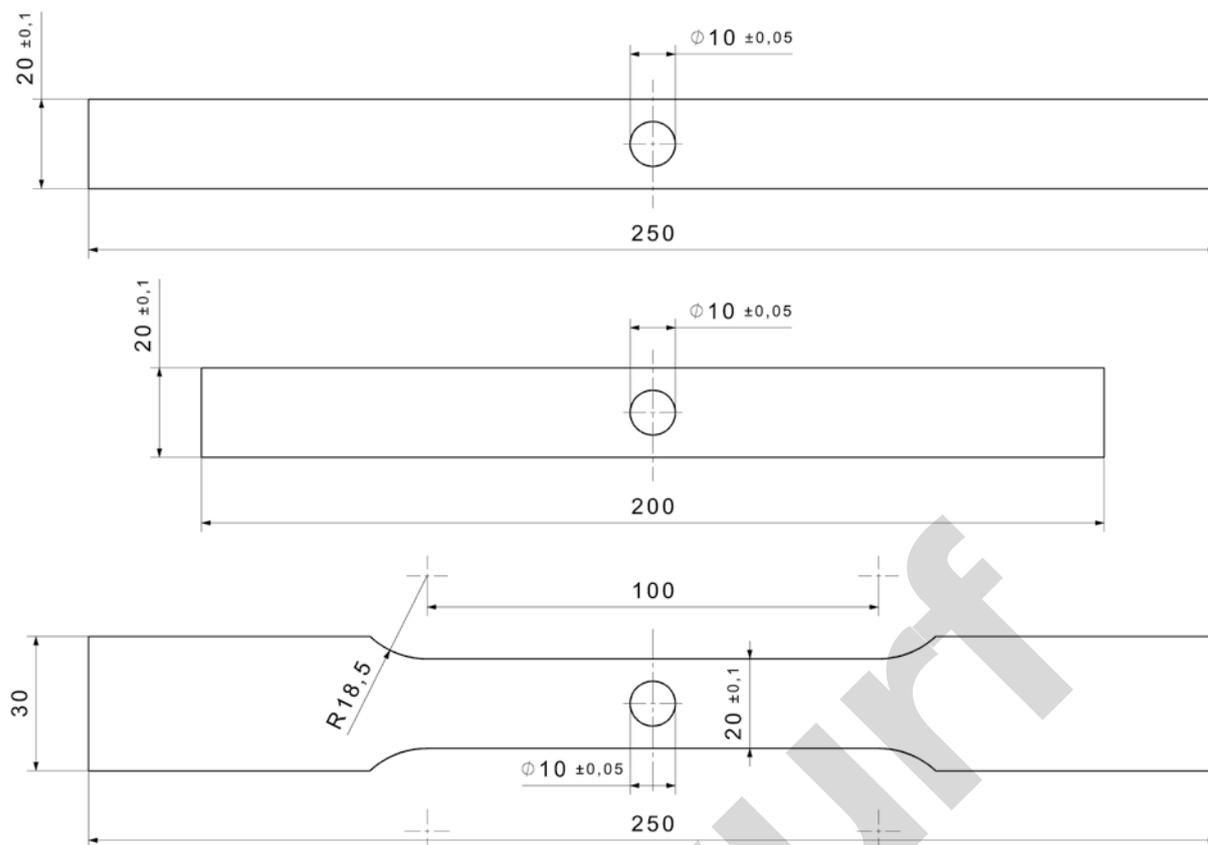


Bild 8-8. Grafische Darstellung der zyklischen Spannungs-Dehnungs-Kurve



Vorderansicht
Maßstab: 1:1

Bild 9.5.1. Geeignete Geometrien der Prüfstücke mit Loch mit einer Länge des zu prüfenden Bereichs von mindestens 100 mm, einer Probenbreite von $20 \pm 0,1$ mm und einem Lochdurchmesser von $10 \pm 0,05$ mm

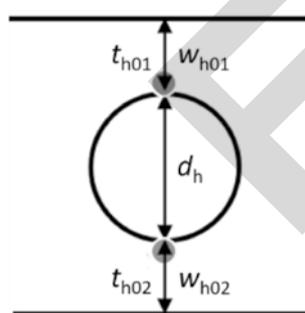


Bild 9.5.2. Stellen für Messungen der Ausgangsdicken t_{h01} und t_{h02} , der Ausgangsbreiten w_{h01} und w_{h02} sowie des Ausgangslochdurchmessers d_h des Prüfstücks mit Loch vor der Prüfung

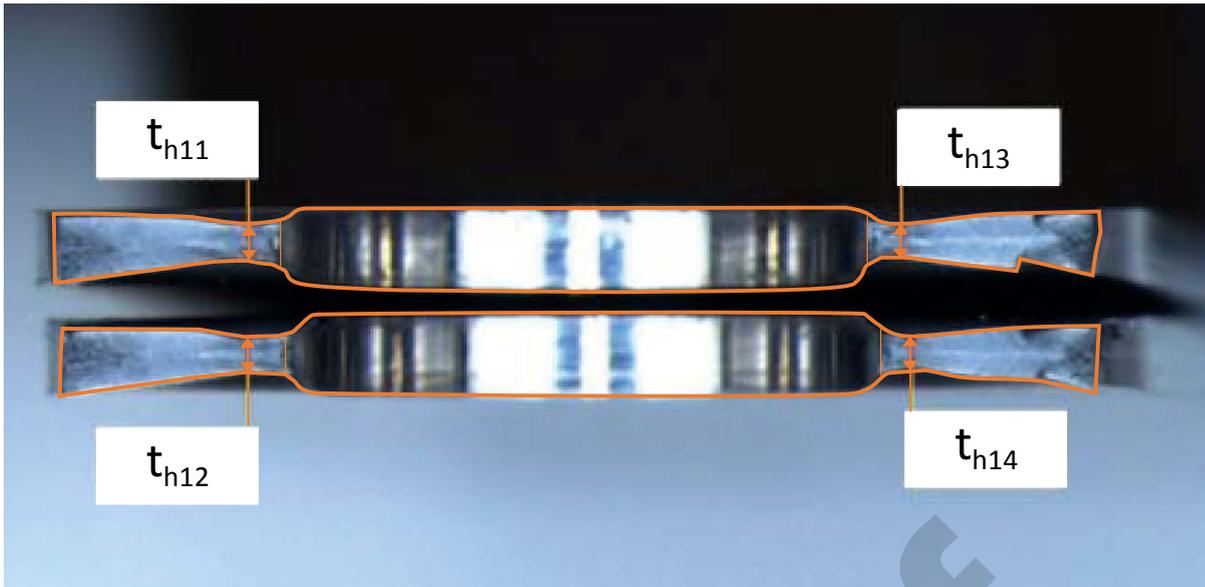


Bild 9.5.3. Skizze der Draufsicht (links) und Frontansicht der Bruchflächen beider Prüfstückhälften (rechts). Stellen (Beispiele) zur Messung der Dicken t_{h11} , t_{h12} , t_{h13} und t_{h14} am Prüfstück mit Loch nach der Prüfung

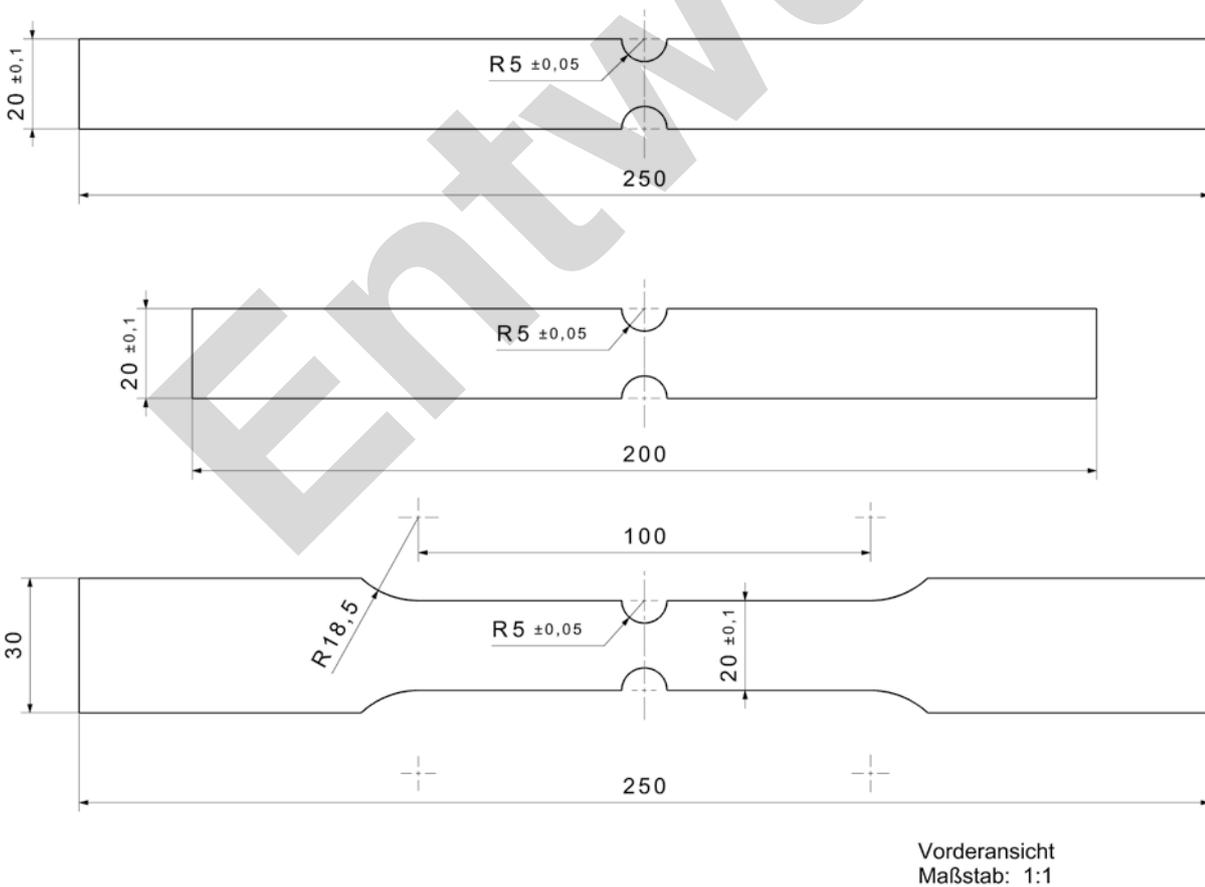


Bild 9.6.1. Geeignete Geometrien der Prüfstücke mit Kerben mit einer Prüfstückbreite von $20 \pm 0,1$ mm und einem Kerbradius von $5 \pm 0,05$ mm

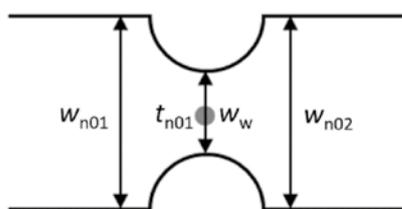


Bild 9.6.2. Stellen für Messungen der Ausgangsdicke t_{n01} und der Ausgangsbreiten w_{n01} , w_{n02} und w_w am Prüfstück mit Kerben vor der Prüfung

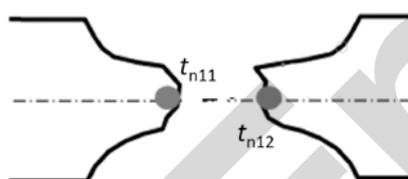
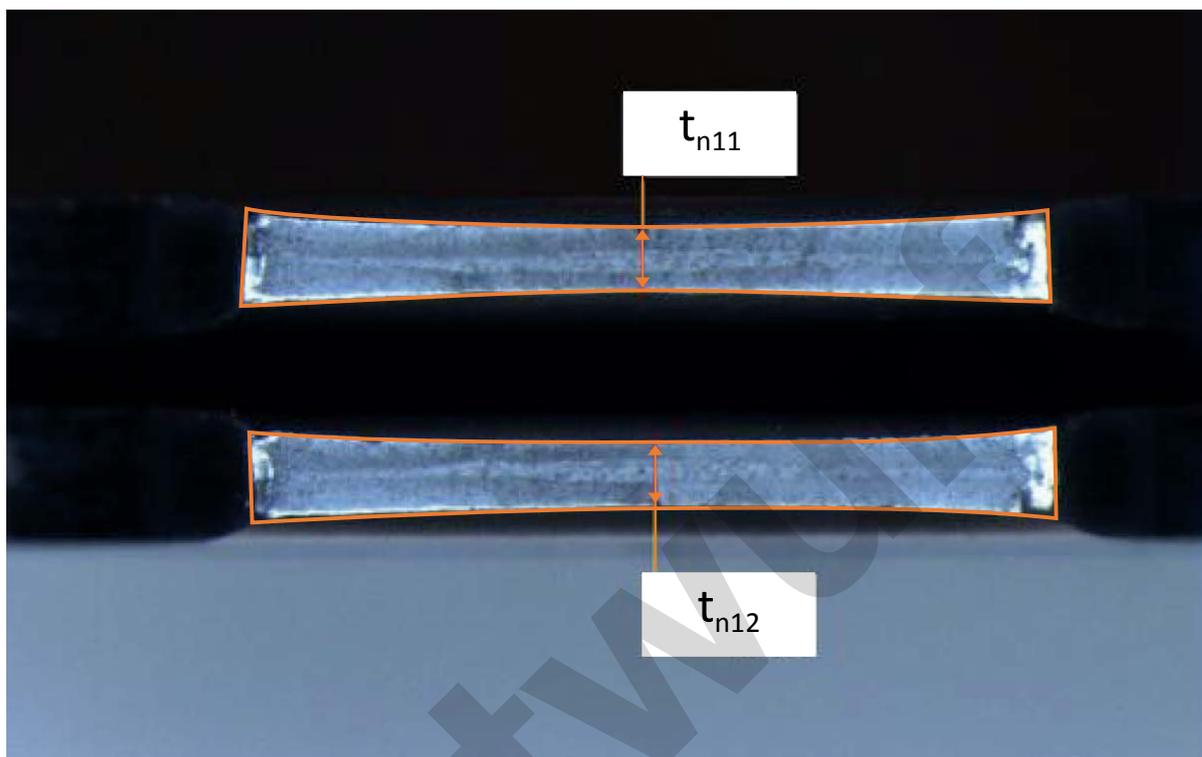


Bild 9.6.3: Skizze der Draufsicht (links) und Front-ansicht der Bruchflächen beider Prüfstückhälften. Stellen (Beispiele) zur Messung der Dicken t_{n11} und t_{n12} am Prüfstück mit Kerben nach der Prüfung

Tabelle 5-1. Auswahl von Prüfparametern für elastische und plastische Kennwerte

Probenvor- behandlung		Prüf- temperatur, K	Reckgrad, %			Lage zur Walz- richtung		
Keine	W170	233	0	2	10	0	45	90
Keine	W170	296	0	2	10	0	45	90
Keine	W170	373	0	2	10	0	45	90

Tabelle 7-1. Auswahl von Prüfparametern für die dynamischen Kennwerte aus dem Hochgeschwindigkeitszugversuch

Probenvorberei- tung		Prüfem- peratur, K	Reckgrad, %			Lage zur Walzrichtung		Dehnrate, 1/s			
Keine	W170	233	0	2	10	0	90	1	10	100	250
Keine	W170	296	0	2	10	0	90	1	10	100	250
Keine	W170	296	0	2	10	0	90	1	10	100	250
Keine	W170	373	0	2	10	0	90	1	10	100	250

Tabelle 8-1. Auswahl von Prüfparametern für zyklische Kennwerte

Probenvor- behandlung		Prüf- temperatur, K	Reckgrad, %			Lage zur Walz- richtung		
Keine	W170	233	0	2	10	0	45	90
Keine	W170	296	0	2	10	0	45	90
Keine	W170	373	0	2	10	0	45	90

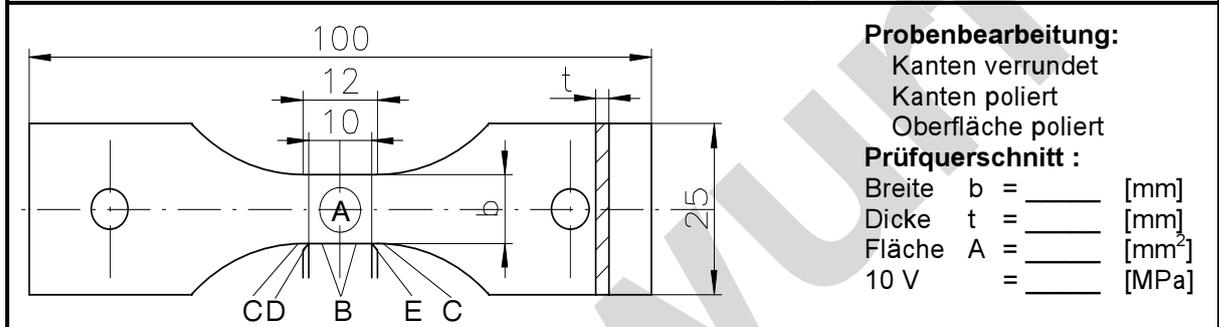
Tabelle 8-2. Versuchsprotokoll für zyklische Kennwerte

Prüfprotokoll Zyklische Werkstoffkennwerte	
Prüfstelle: _____	Probenbeschriftung _____
	interne Nr. _____
	Versuchsreihe Nr. _____

Einbaudatum: _____	Ausbaudatum: _____	Bearbeiter: _____
--------------------	--------------------	-------------------

Kraftaufnehmer Nr. _____	Nennkraft: _____ [N]	10 V = _____ [N]
Dehnungsaufnehmer Nr. _____	Nenndehnung: _____ [%]	10 V = _____ [%]
Wegaufnehmer Nr. _____	Nennweg: _____ [mm]	10 V = _____ [mm]

Werkstoff: _____	Walzrichtung: 0° (in WR) 45° 90° (quer)	Dehnungs- verhältnis: R _ε = -1 R _ε = 0	Wärmebehandlung: haubengeglüht durchlaufgeglüht bake-hardening Coil-geglüht	Prüftemp. -40° C Raumtemp. + 100° C
Bandnummer: _____				



Dehnungsamplitude: ε _{a,t} = _____ [%]	Versuchsbeginn:
Frequenz Erstbelastung: f _{erst} = _____ [s ⁻¹]	Zugrichtung
Frequenz Versuch: f _{Versuch} = _____ [s ⁻¹]	Druckrichtung
Anzugsmoment Knickstütze: M _A = 0,05 [Nm]	
Anpresskraft je Schneide: F _A = 2 [N]	

Schwingspiele bis:	Risslage (einzeichnen!)
Versuchsende N _{VE} _____	A Anriss von Walzoberfläche
10%-Abfall der Spannungsamplitude N _i _____	B Schnittkante zwischen den Schneiden
	C Schnittkante außerhalb der Schneiden
	D Anriss unter den Schneiden (oben)
	E Anriss unter den Schneiden (unten)

Auswertung einer stabilisierten Hysterese bei N_{i, 10%/2}

σ_{min} = _____ [MPa] σ_{max} = _____ [MPa] σ_a = _____ [MPa] R_σ = _____

ε_{min} = _____ [%] ε_{max} = _____ [%] ε_{a,t} = _____ [%] R_ε = _____

Elastischer Dehnungsanteil: ε_{a,e} = σ_a / E ε_{a,p} = _____ [%] (E-Modul Zugversuch)

Plastischer Dehnungsanteil: ε_{a,p} = ε_{a,t} - ε_{a,e} ε_{a,e} = _____ [%]

Bemerkungen/Dateien						
Schwingspiele		Rohdaten	Erstbel.Hyst	σ _{min} /σ _{min} vs N	stab. Hyst.	Medium
Von	bis					

14 Wesentliche Änderungen gegenüber der Ausgabe 2006

Die folgenden wesentlichen Änderungen wurden seit der 1. Ausgabe (2006) vorgenommen:

Allgemein	Allgemeine Aktualisierung des Inhalts und der Referenzen
5.5 Neu	Ermittlung der Fließkurve im Bulge-Versuch
5.7.1 (ex 5.6.1)	Elastische Kennwerte Referenzen angepasst
5.7.3 Neu	Fließkurve aus dem Bulge-Versuch
6.1	Verweis auf die DIN EN ISO 12004-2
7.1	Hochgeschwindigkeitszugversuch Verweis auf die DIN EN ISO 26203
7.2	Prüfstücke Beschreibung verkürzt. Verweis auf die DIN EN ISO 26203
8	Zyklische Werkstoffkennwerte komplett überarbeitet
9	Versagens-Kennwerte Neu aufgenommen als wichtiger Bestandteil der Material-Charakterisierung
10	Normative Verweisungen aktualisiert
12 (ex 9) Datenfiles	Ergänzt: 12.7 bis 12.9 Datenfiles für Versagens-Charakterisierung (Beispiel: Probe mit Loch); komplett in SEP 1237
13 (ex 11) Anhang – Bilder und Tabellen	Erläuterungen in den Text aufgenommen
Bilder 8.7 und 8.8	überarbeitet
Bilder 9.5.1 und 9.6.1	aufgenommen
Tabelle 7.1	geändert

**Testing and Documentation Guideline for the Experimental
Determination of Mechanical Properties of Steel Sheets for
CAE-Calculations**

SEP 1240
2nd edition

In the event of inconsistencies between the German and English language versions, the German version shall prevail.

Table of contents

- 1 Scope**
- 2 General requirements**
 - 2.1 Selection of the batch
 - 2.2 Material Specification
 - 2.3 Basic characterization/metallography
 - 2.4 SI units
 - 2.5 Data format for the material properties
- 3 Pre-treatment of specimens**
 - 3.1 Location of sampling
 - 3.2 Definition of the specimen condition/pre-treatment of specimens
 - 3.3 Designation of specimens
- 4 General test conditions**
 - 4.1 Check of transducers for elongation and force
 - 4.2 Documentation of test equipment
 - 4.3 Specimen temperature
 - 4.4 Storage of specimens
- 5 Elastic and plastic material properties from the tensile test**
 - 5.1 Overview
 - 5.2 Specimens
 - 5.3 Test conditions
 - 5.4 Property values from the quasi-static tensile test
 - 5.5 Determination of the flow curve from the bulge test
 - 5.6 Number of tests
 - 5.7 Documentation and evaluation
 - 5.8 Symbols
- 6 Plastic material properties from the forming limit curve**
 - 6.1 Overview
 - 6.2 Specimens
 - 6.3 Test conditions
 - 6.4 Evaluation of test results

Dieses STAHL-EISEN-Prüfblatt wurde von Fachleuten im Stahlinstitut VDEh und im Verband der Deutschen Automobil-Industrie e.V. VDA erstellt.

7 Dynamic material values – high speed tensile testing

- 7.1 Overview
- 7.2 Specimens
- 7.3 Test conditions
- 7.4 Number of tests
- 7.5 Documentation and evaluation

8 Cyclic material properties – experimental determination

- 8.1 Overview
- 8.2 Samples and preparation
- 8.3 Test equipment
- 8.4 Test conditions
- 8.5 Test sequence
- 8.6 Documentation and evaluation
- 8.7 Statistics
- 8.8 Graphical representation of the results
- 8.9 Data
- 8.10 Symbols

9 Fracture properties for crash and forming simulation

- 9.1 Objective
- 9.2 Overview
- 9.3 General test conditions
- 9.4 Samples and preparation
- 9.5 Uniaxial tensile test on a specimen with a hole
- 9.6 Uniaxial tensile test on the specimen with notches
- 9.7 Biaxial tensile test or hydraulic bulge test
- 9.8 Documentation of results
- 9.9 Symbols and abbreviations

10 References

11 WG Members

12 Examples of standardized data files

- 12.1 Chemical analysis
- 12.2 Plasticity parameters of dynamic tensile
- 12.3 Plasticity parameters
- 12.4 Elasticity parameters
- 12.5 Forming limit curve
- 12.6 Cyclical parameters
- 12.7 Data file with a force-displacement curve for the uniaxial tensile test on the specimen with a hole
- 12.8 Data file with results of a deformation analysis for the uniaxial tensile test on a specimen with a hole
- 12.9 Data file with results of a thickness measurement for the uniaxial tensile test on a specimen with a hole

13 Figures and Tables

14 Significant changes to edition 2006

1 Scope

This STAHL-EISEN test specification (SEP) describes the state of the art for selected mechanical tests on thin sheets of steel and their documentation. This SEP is the basis for unified material property determination for CAE calculations and shall standardize the data exchange between test institutes, material suppliers and automotive producers.

This SEP does not describe the extent of testing required for the material approval process.

Especially with respect to the comparability of the results of measurements and mechanical properties, it is recommended to apply this SEP for the tests described as follows.

Range of application: Sheet steel with thickness up to 3 mm

Note: Not the objective of this SEP is the influence of different material suppliers, material thicknesses and batch variations on the material properties.

2 General requirements

2.1 Selection of the batch

Samples shall be taken from a representative material delivery, if possible. This is characterized by property values for yield stress, ultimate tensile stress, and total elongation, which should lie within the range ± 1 standard deviation of the relevant standards or internal specifications of the steel manufacturers. If such property values are not available, target values shall be agreed upon.

2.2 Material Specification

The following information is to be provided for each material to be tested, if available, and to be documented:

- Material designation according to a standard
- Surface coating
- Sheet thickness
- Steel manufacturer
- Chemical composition
- Date of manufacture
- Surface condition according to EN ISO 21290

2.3 Basic characterization/metallography

The basic characterization is carried out once for each material to be tested in the as-delivered condition. This includes the determination of the following quasi-static material properties, which are to be documented:

- Yield Strength,
- Ultimate tensile strength,
- Uniform elongation,
- Total elongation,
- r-value according to EN ISO 10113,
- n-value according to EN ISO 10275,
- arithmetical roughness average Ra according to EN ISO 21290,
- peak count RPc according to EN ISO 21290

In addition, the microstructure of each material should be characterized by suitable metallographical methods. For documentation, a photograph of the etched longitudinal section stating the ASTM

grain size number according to EN ISO 643, if technically feasible, and the etchant is to be added to the test report in digital format.

2.4 SI units

SI unit	Symbol	Unit
Time	t	s
Dimension	length l width w thickness t elongation	mm
Temperature	T RT	K 296 K
Force	F	N
Stress	s	MPa
Young's modulus	E	GPa
Distance	A	%
Frequency	f	Hz
Test velocity	v	mm/s
Strain rate	e	s ⁻¹

2.5 Data format for the material properties

To ensure a flawless exchange of data, the following guidelines for standardised data formats should be followed. For the coding of test data, the following convention is applied:

- 7-Bit ASCII code without umlauts and tabstops,
- arbitrary number of blank spaces,
- comment lines begin with a \$ character,
- decimal character is a point “.”,
- columns are separated by semicolons,
- data filenames have the extensions “.txt” or “.dat”.

The saved data files are trailing a so-called ‘data header’ containing all important information regarding the test procedure. The data header contains general information regarding the material (material ID at the time of the test start, manufacturer, etc.) as well as specific information resulting from the respective test (ultimate tensile strength, Young's Modulus, etc.).

Examples of data headers of the respective test methods are included in clause 12. When filling the data headers, the keywords given in clause 12 are to be used, while the pre-defined wording shall be exactly followed.

The fields of the data header are categorised as necessary fields and optional fields. Necessary fields contain information which must be provided, while optional fields contain detailed information on the measurements. The number of optional fields can be increased to contain further information (e.g. measured parameters) as long as the formal conventions are adhered to.

For documentation, pictures shall be stored in the JPEG format. The format for text documents is Microsoft Word. For evaluated test data the format is Microsoft Excel.

3 Pre-treatment of specimens

3.1 Location of sampling

To ensure homogeneous material properties in all specimens to be tested, the samples should be taken from the thin steel sheet coil as follows:

For the determination of elastic and plastic material properties, all specimens should be taken out of the inner region of the coil width, representing the total sheet width minus an area of 100 mm from the strip edges.

For the determination of cyclic material properties, all specimens should be taken out of the inner third of the coil width.

It must be ensured during specimen production that the material properties in the measuring length will not be influenced.

3.2 Definition of the specimen condition/pre-treatment of specimens

If a special pre-treatment of the specimens is necessary or foreseen, this will be described in the context of the individual test method.

If the specimens undergo a thermal, mechanical or thermo-mechanical pre-treatment before the test, this has to be documented in detail. For a clear recognition of the specimens a nomenclature is proposed in clause 3.3.

3.2.1 State of delivery (D)

The state of delivery is the state of the material when it has been delivered to the customer.

3.2.2 Heat treatment of the specimens (designated W170) for the determination of the bake-hardening index (BH2)

For the simulated E-coating heat cycle (important for thermal pre-loading of painted body panels) it is necessary to thermally pre-treat the sheet specimens.

The following heat treatment process, following EN 10325, has proven to be close to practice:

Specimen temperature:	170°C
Heating time to test piece temperature:	< 7 minutes
Holding time:	20 minutes
Cooling:	Cooling in still air

The temperature has to be controlled by a thermocouple in the furnace atmosphere.

3.2.3 Determination of the Bake-Hardening Index (BH2)

The use of pre-deformed sheets can make sense if the material to be characterised shows a significant strength increase under a combination of pre-deformation and heat treatment (analogous to forming + CDP drying), as it is the case for steels showing a Bake-Hardening effect.)

Note: Materials like HTX500XD, H180BD, etc. exhibit a significant dependence of the yield strength from the pre-strain direction (Bauschinger effect), i.e., earlier onset of plastic deformation.

A defined plastic pre-straining of the material shall simulate the pre-deforming process of car body parts during fabrication.

Plastic pre-straining is performed according to EN 10325 on individual specimens in the quasi-static tensile test.

The BH_2 index is the difference between the proof strength $R_{p2.0}$ of the 2 % plastically strained test piece and the lower yield strength R_{eL} or the proof strength $R_{p0.2}$ of the same specimen after an additional heat treatment described in 3.2.2.

During pre-straining, the testing rate must be kept constant up to the pre-strain of 2 %.

The tensile test is carried out in accordance with EN ISO 6892-1 Annex A. The testing speed at the beginning of the tensile test shall only be increased after the determination of R_{eL} or $R_{p0.2}$.

In the case of materials showing aging effects after pre-straining (e.g. steels having a bake-hardening effect) already at room temperature, for the reproducibility of the results it is necessary to perform the test immediately after stretching or to store the stretched test pieces in liquid nitrogen.

The testing direction for the determination of the bake-hardening effect is the same as for the determination of mechanical properties in the tensile test according to EN ISO 6892-1.

Note: For the steel grades to be tested the general technical delivery conditions apply for the sampling conditions as well as the sample orientation.

3.3 Designation of specimens

For a clear allocation of the test and the specimen and its state, a specimen name according to the below mentioned defaults (characteristics) is to be assigned. The characteristics are separated by an underline ("_"). Designations according to internal standards of the testing laboratories are allowed, as far as they ensure the required clear allocation. If internal designations are used, they shall be documented and provided to the customer.

1. Characteristic: Testing

- B** = Bulge test,
- E** = Elastic Modulus,
- F** = Flow curve,
- G** = Forming limit curve,
- H** = High-speed tensile test,
- V** = quasi-static tensile test,
- Z** = cyclic test,
- X** = fracture characterization

2. Characteristic: Material

designation according to standard (for non-standardised materials the commercial name or company designation has to be used)

3. Characteristic: Surface condition

- U** = uncoated / without surface coating
- Z** = hot dip galvanised,
- ZE** = electro-galvanised,
- ZF** = galvannealed,
- AB** = other coating

4. Characteristic: pre-straining (and direction)

- L = longitudinal to rolling direction,
- Q = transversal to rolling direction,
- D = diagonal to rolling direction,
- 0 = without pre-straining

5. Characteristic: Pre-strain in %

- BH2 = 2 % pre-straining
- BH0 = 0 % no pre-straining

6. Characteristic: Testing direction

(L, Q, D)

7. Characteristic: Heat treatment

- O = without heat treatment
- W1 = heat treated (170 °C/20 minutes)
- Wx = heat treated upon agreement with the customer

8. Characteristic: Test temperature (K): 233, 296, 373**9. Characteristic:** Strain rate for high-speed tensile test in s⁻¹ (without dimension)**10. Characteristic:** Number of the parallel test (a, b, c,)

Example: A flow curve for steel grade CR210BH-GI +Z has been determined. The material was pre-strained by 5 % parallel to the rolling direction, was tested perpendicular to the rolling direction and was not heat treated; the test was performed at 373 K (100 °C) with a strain rate of 20 s⁻¹ and this was the third parallel test.

F_CR210BH_Z_L_5_Q_O_373_20_c.txt

Note: The short name in the file name will be adjusted to the actual standard. The short name in the data header will not be altered.

4 General test conditions**4.1 Check of transducers for elongation and force**

Test laboratories are requested to check their equipment regularly and to document this. Calibration can be carried out in the course of the regular acceptance of the testing machines.

4.2 Documentation of test equipment

Documentation of tensile tests is carried out according to EN ISO 6892-1. Additionally, the applied test equipment has to be described:

- test machine/type (quality type),
- sensor (transducer) for elongation and force,
- kind of clamping and appliance,
- closed-loop control (tension, strain- or position) and also
- data recording (used hard- and software, product names, version, sampling rate).

4.3 Specimen temperature

The following testing temperatures (at the specimen) can be used for the determination of mechanical properties, depending on the application of the sheet component:

- 296K (23°C = RT),
- 233K (-40°C),
- 373K (100°C).

The permissible temperature variation during testing has to be limited to ± 5 K.

The test method shall be described (tensile testing at elevated temperature acc. EN ISO 6892-2, at low temperature acc. EN ISO 6892-3)

4.4 Storage of specimens

For later verification of tests, the tested specimens and residual sample material has to be stored until the end of the test series or even longer, according to an agreement with the customer.

5 Elastic and plastic material properties from the tensile test

5.1 Overview

Young's modulus is determined following DIN EN ISO 6892-1 (Annex G) and SEP 1235.

Measuring plastic properties and the flow curve are conducted by quasi-static tensile testing following EN ISO 6892-1 but using a constant strain rate.

Thus, two separate tests are carried out to determine elastic and plastic properties.

The tensile test according to EN ISO 6892-1 basically allows elastic and plastic specimen characteristics to be determined in one test, provided that a micro strain gauge is used.

The deviations from this method stipulated in this SEP are described below.

Note: The experimental determination of Young's modulus is extremely expensive and has high requirements for the testing equipment and the data acquisition system. Incorrect measurements resulting from inadequate equipment are often not detected because a value for Young's modulus is always determined but this value may not necessarily correspond to the correct physical value.

5.2 Specimens

Specimens shall be manufactured according to EN ISO 6892-1 (specimen shape 2).

5.3 Test conditions

Depending on the customers' goal of investigation, different pre-treatments of the material to be investigated or tests at specific temperatures can be agreed upon on the order.

This includes primarily:

- Preparation of specimens (e.g., longitudinal axis of specimen in relation to the rolling direction, pre-straining, temperature, stoking temperature of paint, ...),
- Test temperature

individually or in combination.

Table 5-1 shows a possible selection of parameters to be varied. The grey-shaded fields show a possible standard test program. Restrictions or extensions can be agreed upon, if necessary.

Note: It must be ensured that the temperatures of the specimens are as specified at the beginning of the test. This is verified by a test series with temperature measurement at the specimen. Details of the manufacturer and type of conditioning cabinet must be recorded.

5.4 Property values from the quasi-static tensile test

In addition to the determination of the mechanical properties in the quasi-static tensile test according to EN ISO 6892-1, the test conditions given in clauses 5.4.1 and 5.4.2 apply.

As follows, the boundary conditions for determining Young's modulus and the flow curve via separate tests are described

5.4.1 Determination of Young's modulus

Young's modulus is determined according to EN ISO 6892-1, Annex G.

5.4.2 Determination of flow curves using tensile tests (following EN ISO 6892-1)

Deviating from EN ISO 6892-1, the entire tensile test is carried out with a constant strain rate of 0,4 %/s (0,004/s) relating to the initial measuring length L_0 .

Note: According to EN ISO 6892-1 it is specified to use a strain rate between 0,00025/s and 0,0025/s until the lower strain limit or the lower and upper strain limit is reached. The same standard specifies a straining velocity of $< 0,008/s$ until reaching the tensile strength (R_m). The rationale for maintaining a constant strain rate in this SEP, deviating from EN ISO 6892-1, is the aim to determine flow curves (true stress – true plastic strain), as distinct from a (technical) stress-strain curve, for data input into computing/simulation processes. Therefore, it must be ensured that the obtained flow curves exhibits no point of discontinuity, as it would occur on the point where the strain rate has been changed. The properties determined in the constant strain rate tests (in particular $R_{p0,2}$, R_m) may deviate from those determined in accordance with EN ISO 6892-1.

5.5 Determination of the flow curve from the bulge test

EN ISO 16808 describes testing, test equipment, specimens and the calculation of biaxial stress-strain curves.

5.6 Number of tests

Three valid tests shall be carried out. If the results deviate by more than 5 %, two additional tests shall be performed.

5.7 Documentation and evaluation

5.7.1 Elastic properties from the tensile test

The following measured data shall be documented:

- Initial width,
 - initial thickness,
 - initial measuring length
- (see example data header)

Additionally, the following continuously measured raw data have to be recorded column wise for a later evaluation:

- Time,
- force,
- displacement,
- width/change of width.

During the evaluation, the values for Young's modulus from individual measurements are determined: the arithmetic average, the maximum and the minimum values. The determination of Young's modulus is carried out in accordance with EN ISO 6892-1 (Annex G) and SEP 1235.

5.7.2 Plastic properties from the tensile test

The following measured data shall be documented:

- Initial width,
 - initial thickness,
 - initial measuring length.
- (see data header)

Additionally, the following continuously measured raw data have to be saved for later evaluation column wise:

- Time,
- force,
- displacement,
- width/change of width (for r-values)

During the evaluation of the measured raw data, a conventional stress strain curve and a real stress vs. real strain curve are calculated (according to EN ISO 6892-1 or using the evaluation module/ CAE database of AK 6.1.29)

The following characteristic values are determined from the stress strain curve:

- $R_{p0.2}$, (R_{eL} , R_{eH}) according to EN ISO 6892-1 at constant strain rate,
- R_m according to EN ISO 6892-1 at constant strain rate,
- $A_{Lüd}$, A_g , $A_{80\text{ mm}}$ according to EN ISO 6892-1 at constant strain rate,
- n-value according to EN ISO 10275 (required is the strain range for which the n-value is valid (e.g. 10%),
- Bake-hardening index according to EN 10325.

The determination of the r-value is carried out by evaluating φ_b (logarithmical change of width) versus φ_l (logarithmical change of length) in the strain range between 2 % and $A_g - 1$ %. The evaluation can be done alternatively using the module of the CAE-data bank of AK-6.1.29.

Both procedures ensure that the obtained r-value is the representative average value for the strain range between 2 % and $A_g - 1$ %.

5.7.3 Determination of the flow curve from the bulge test

According to EN ISO 16808 the following data shall be documented in a table:

- Time,
 - Radius of curvature ρ ,
 - Pressure p,
 - Plastic deformation degree, absolut value in thickness direction,
 - biaxial tension.
- (see example data header)

5.8 Symbols

Young's modulus	E
Deformation velocity	mm/s
Yield strength	$R_{p0.2}$ (R_{eL} , R_{eH})
Tensile strength	R_m
Elongation	$A_{Lüd}$, A_g , A_{80}
n value	
r value	

6 Plastic material properties from the forming limit curve

6.1 Overview

Measurement of the forming limit curve FLC is carried out according to Nakajima in accordance with EN ISO 12004-2.

6.2 Specimens

A minimum of 6 specimen geometries are required to achieve a uniform distribution of the measured values of major and minor strain from the deep drawing to the stretch forming areas.

The specimens must have a parallel measuring zone of at least 25 mm. This parallel measuring zone is oriented transverse to the rolling direction.

The measuring pattern (random or grid) must not influence the strain evolution and crack initiation. Specimen preparation has to be such that no cracks initiate from the edge. Preferred preparation methods are milling or wire-cut EDM.

Following manufacturing the specimens are to be marked clearly and unalterable outside the measuring range.

6.3 Test conditions

The punch shall move with a constant velocity of 1 mm/s to 2 mm/s. The punch diameter is 100 mm \pm 2 mm, the blank holder is 105 \pm 5 mm, and the edge radius shall be between 5 mm and 10 mm.

Friction shall be minimized by using a suitable tribological system. The tribological system has to be maintained during the test series. Multilayer compound systems like PTFE (foil)/lubricant/PVC/lubricant/PTFE have proven to be reliable in the past. The test is only valid if the crack initiates in the middle of the specimen cap within a circle of \pm 15 mm.

The test is carried out at room temperature (23 °C \pm 5 °C) and will be interrupted when a crack occurs. The crack is detected optically or by a test force decrease.

6.4 Evaluation of test results

The evaluation is carried out in accordance with EN ISO 12004-2, applying the line intersection method.

The strain path transverse to the crack will be evaluated. To date, there is no objective criterion available to evaluate the forming limit per unit time in a reproducible way. The forming limit will be determined at each intersection line, and this pair of values will be stored in a data file in the form of major and minor strains (see data header).

7 Dynamic material values – high speed tensile testing

7.1 Overview

The flow curve is measured in the high-speed tensile test in accordance with EN ISO 26203-1 and 2.

7.2 Specimens

Flat tensile specimens are used. SEP 1230 Annex 2 gives examples and characteristic dimensions. Specimen heads may vary in design, e.g., for application of strain gauges for force measurements according to the dynamometer principle.

Specimen geometries and dimensions are specified in EN ISO 26203-2.

After manufacturing the specimens are to be marked clearly and unalterable outside of the measuring range.

7.3 Test conditions

7.3.1 Test preparation

When using servo-hydraulic test machines, the machine frame can vibrate during the test. Therefore, force and elongation measurements can be disturbed. These vibrations influence the force signals and thus the stress-strain curves (uneven, ragged signal).

The algorithms used to smooth the measuring signal could lead to defects which cannot be neglected and are difficult to verify. Therefore, an instrumentation of the force signal, e.g., by application of a strain gauge (DMS) for force measurement on the specimen, for strain rates above 50 s^{-1} and for specimens with a parallel length of 20 mm and more are recommended. It is important to pay attention that the DMS is applied at a specimen location which deforms purely elastic (dynamometer range). This can be verified by FEM calculations.

To eliminate flexural vibration, it can be beneficial to apply DMS systems on both sides of the specimen and to connect both signals by using a Wheatstone Bridge.

The use of damping elements in the force string to reduce vibration should be avoided. This would decrease the strain rate at the beginning of the test which could influence the yield strength.

To determine strain and/or strain rate directly on the specimen, it is recommended to use instrumental displacement or elongation measuring systems to get knowledge. For example, high speed cameras, optoelectronic systems or laser Doppler extensometer can be applied. With these methods, the elongation will be measured directly on the surface of the specimen.

When determining the strain directly from the piston displacement, the influence of stiffness of the test machine has to be taken into account and has to be eliminated in the evaluation.

7.3.2 Test temperature / pre-treatment

Depending on the customers' goal of investigation, different pre-treatments of the material to be investigated or tests at specific temperatures can be agreed upon on the order.

This includes primarily:

- Preparation of specimens (e.g., longitudinal axis of specimen in relation to the rolling direction, pre-straining, temperature, stoking temperature of paint, ...)
- Test temperature

individually or in combination.

Table 7-1 shows a possible selection of parameters to be varied. The grey-shaded fields show a possible standard test program. The blue-shaded fields show an additional test program for steels with proven bake-hardening potential. Restrictions or extensions can be agreed upon, if necessary.

7.3.3 Test velocity

To sufficiently describe the strain rate dependence, the following nominal strain rates are recommended (other strain rates can be agreed upon):

Strain rate = 1 s^{-1} , 10 s^{-1} , 100 s^{-1}

7.4 Number of tests

Three valid tests shall be carried out. If the results deviate by more than 10%, two additional tests shall be carried out.

7.5 Documentation and evaluation

7.5.1 Data files

The following measured data shall be documented:

- Initial width (optional),
- initial thickness,
- initial measuring length
(see example data header)

Additionally, the following continuously measured raw data have to be saved for a later evaluation column wise:

- Time,
- force,
- displacement,
- width/change of width.

7.5.2 Property values

During the evaluation of the raw data (measured force-displacement curves, depending on strain rate), a conventional stress strain curve and a true stress vs. real strain curve are calculated (following EN ISO 6892-1).

From the individual stress strain curve, the following values can be determined:

- Yield strength R_e (or YS),
- Ultimate tensile strength R_m (or UTS),
- Uniform elongation (A_g or %UE) and
- Elongation after fracture (A_{20mm} , A_{12mm} , etc.)

8 Cyclic material properties – experimental determination

8.1 Overview

Goal is the determination of cyclic properties for CAE calculations. Base is the local strain concept (also: notch-based concept).

The strain S-N curve (Woehler curve) and the cyclic stress-strain curve of the material are determined in strain-controlled fatigue tests under constant strain amplitudes.

8.2 Samples and preparation

8.2.1 Sampling

Sample material shall be taken out of the inner region of the coil width. The rolling direction shall be documented. (see 3.1)

8.2.2 Specimen geometry

Flat specimens of the same thickness as the cold or hot-rolled strip are produced. The rolled surface is left untreated and corresponds to the as-delivery state.

Geometry and dimensions are given in **Figure 8-1**. Other geometrical characteristics of the specimens, e.g. the clamping heads, may vary, adapted to the respective machine conditions.

8.2.3 Production of specimens

Taking out the specimens by laser cutting (rectangular sheets with 5 mm oversize) and subsequent final machining in bundles of 10 to 25 sheets by wire-cut EDM have proven to be advantageous.

Alternatively, specimens can be produced by other manufacturing processes as for example milling or water jet cutting.

Breaking the edges along the waisted section and around the radii must be carried out manually using a cylindrical abrasive pencil. The waisted section must then be manually polished in longitudinal direction using a buffing wheel and mirror-finish paste. The radius of the deburred edges must be less than $t/4$ (t = sheet thickness). The applied production process is to be documented.

8.2.4 Corrosion protection

A light film of anti-corrosive oil should be applied which must be removed prior to testing (degreasing).

8.2.5 Surface condition

The surface shall exhibit a Roughness average (Ra value) $< 0.2 \mu\text{m}$ according to EN ISO 21920-1. The cut and polished edges shall exhibit a maximum peak-to-valley-height (Rz value) $< 0.7 \mu\text{m}$.

8.2.6 Marking

To obtain an unambiguous identification of the specimens, the specimen name is marked outside the measurement length.

8.3 Test equipment

8.3.1 Test machine

A servo-hydraulic testing machine with closed-loop load and strain control must be used, which complies with quality class 1 according to EN ISO 6892-1 in the relevant test range as a minimum

requirement. Details of the machine manufacturer, the year of construction, the type of cylinder and the quality of the load measuring facility must be specified in the test report.

The test institutes must ensure adherence to the specified test loads. Details of the manufacturer and model of closed-loop electronic control system and the target value setting device must also be specified.

8.3.2 Mounting the specimens and orientation of the test string

The specimens can be mounted hydraulically or mechanically. The specimen must not be subjected to any torsional load. Mechanical travel limits must be provided to protect the specimen, the buckling guide and the extensometer. During this, bending loads must be avoided.

Note: To avoid any additional bending load, the specimen holder must be oriented precisely, e.g., by means of two half specimens and a straight-edge. Any bending stresses that may occur can be assessed by means of DMS-applied level calibration specimens or with reference to the recorded hysteresis – particularly by the Young's modulus.

8.3.3 Extensometer

The extensometer to be applied shall have a measuring length of 10 mm.

It is to be secured to the specimen in such a way that the position of the extensometer on the specimen remains unchanged throughout the test. It must be ensured that the extensometer is always positioned at the same location of the specimen.

The contact pressure of the knife edges shall amount to 2 N. When testing higher strength steel or testing at low temperatures, the contact pressure is to be increased to 3 to 4 N to prevent slipping of the knife edges on the specimen. For example, the contact pressure can be measured with the aid of a wire holder or a spring balance.

Details of the manufacturing company, type, permitted temperature, calibrator, quality class, calibration curve (zero crossing behaviour), type of mounting and contact pressure of the knife edges must be recorded.

Note: To avoid cracking below the extensometer knife edges, optical extensometers can be used. The initial measuring length of 10 mm and the control behaviour must not be influenced by using optical extensometers. Conformity to EN ISO 9513 has to be ensured.

8.3.4 Buckling guide

Depending on sheet thickness and material, the specimens tend to buckle in the compression range. For this reason, a buckling guide is required, allowing the specimen to 'lean against' without buckling.

The buckling guide system has a floating support, see Figure 8-2.

Note: A deviating buckling guide geometry can be used. Its comparability is to be proven.

To ensure that the specimen can deform as free as possible within the buckling guide, PTFE films with 0.5 mm thickness are inserted between the buckling guide and the specimen on both sides. The film has the same shape as the buckling guide. Its intactness must be checked before and after each test. No additional lubrication is permitted between specimen and PTFE film.

8.3.5 Recording measured values

Details of the manufacturer, type of instrument and software are to be documented.

8.3.6 Check of extensometer and load transducer

The test institute must check the function of the extensometer at the beginning and the end of every test series.

Calibration of the load transducer is to be checked within the intervals specified by the quality management system.

8.4 Test conditions

8.4.1 Cyclic tests

Strain is monitored throughout the cyclic tests.

8.4.2 Load form

A sinoidal load is applied to the specimen.

8.4.3 Test frequencies

The test frequency must be selected according to the anticipated number of cycles prior to crack initiation:

up to 1.000 cycles = 0,1 Hz

1.000 – 10.000 cycles = 0,1 – 0,5 Hz

10.000 – 100.000 cycles = 0,5 – 3 Hz

100.000 – 500.000 cycles = max. 5 Hz

500.000 – 1.000.000 cycles = max. 10 Hz

Second method: Adapt test frequency according to the test duration

Frequency is chosen depending on strain amplitude. Example for deep drawing steel:

$\geq 0,6 \% = 0.1 \text{ Hz}$

$0,4 - < 0,6 \% = 0.1 - 0.5 \text{ Hz}$

$0,2 - < 0.4 \% = 0,5 - 2.0 \text{ Hz}$

$< 0.2 \% = \geq 2 \text{ Hz}$

For a different material group it can be necessary to adapt the values.

Third method: Choose a fixed elongation and switch to force control mode if there is no plasticity for a given number of cycles. This allows a shorter test duration.

Note VDEh: During the Public Enquiry it must be checked, which of the three methods (or all) shall be included in SEP 1240.

8.4.4 Test temperature / pre- treatment

Depending on the customers' goal of investigation, different pre-treatments of the material to be investigated or tests at specific temperatures can be agreed upon on the order.

This includes primarily:

- Pre-treatment of specimens (longitudinal axis of specimen related to the rolling direction, pre-straining, temperature, e.g. stoking temperature)
- Test temperature

individually or in combination.

Table 8-1 shows a possible selection of parameters to be varied. The grey-shaded fields show a possible standard test program. Restrictions or extensions can be agreed upon, if necessary.

It must be ensured that the specimens have reached the temperatures specified at the beginning of the test. This is to be verified by a test series with temperature measurement at the specimen. The manufacturer and type of conditioning cabinet must be documented.

8.4.5 Number of tests

12 evaluable tests must be performed for each S/N curve.

8.4.6 Strain levels

The following strain levels must be tested (3 specimens each): 0.8 %, 0.4 %, 0.2 % and at a strain value < 0.2 %. Each test is performed until $N = 10^6$ load cycles.

If the elastic component is in such a way that no crack initiation is anticipated at strain amplitudes of 0.8 % or 0.4 % for linear regression at a strain level of 0.2 %, three tests must be carried out at a higher strain level, whereby the strain value must be chosen in such a way that fractures may be expected prior to reaching 10^6 cycles. Below this higher strain level, three specimens must be tested up to a maximum of $N = 10^6$ cycles.

8.4.7 Mean strain

Only a mean strain $\varepsilon_m = 0$ corresponding to $R_e = -1$ must be tested.

8.5 Test sequence

8.5.1 Test report

An example test report is given in the Annex (**Table 8-2**).

8.5.2 Start of testing

The first 5 hystereses must be recorded. Adjustment to the required setpoint value must have been completed within the first 10 cycles or the first 10 seconds, whereby max. 5 % overshoot is permitted. After this, the difference between setpoint and actual values must not be greater than ± 3 % up to the end of the test.

Basically, tests are started with tension loading.

8.5.3 Identification of crack initiation

Maximum stress values are recorded throughout the test in order to plot the alternating deformation curve. When a crack is initiated in the specimen, less load or stress is required in order to achieve the desired strain amplitude. The time at which the crack initiation took place is determined by the drop in maximum stress value over the number of cycles.

Definition of crack initiation:

a mean straight line is drawn through the progression of the upper load over the number of cycles in the evaluation range between approx. $N_i/2$ to approx. N_i (N_i = number of cycles until crack initiation). The number of cycles leading up to a 10 % drop (crack initiation within measured length) or increase (crack initiation outside measured length) of the upper load is defined as the crack initiation life.

8.5.4 Test duration

A test is terminated in the event of an obvious crack initiation in the specimen or after 10^6 cycles at the latest if no crack initiation has occurred. Specimens with no crack initiation are regarded as

run-out and are entered in the corresponding plot (special identification is necessary to distinguish these) but are not included in the evaluation.

8.6 Documentation and evaluation

8.6.1 Evaluation of the tests

Tests in which crack initiations occur under the knife edges of the extensometer are invalid if they result in a deviating fatigue life compared with the results of valid tests. Run-out specimens are not taken into consideration when determining the properties for the strain S/N-curve.

The stress ratio for stresses in the high-cycle fatigue limit range may differ significantly from $R = -1$. To obtain information concerning the R value, the hysteresis at half the number of load cycles for test end must also be stored in the data record for run-out specimens.

If the result of the plastic strain component calculation are values $< 0.01 \%$, these are not taken into consideration when determining the plastic strain lines for the strain S/N-curve. In this case, the elastic strain components correspond to the total strain and are taken into consideration in the regression calculation to determine the elastic lines in the strain S/N-curve.

Where no crack initiations are evident in specimens by 10^6 cycles (run-out specimens), these are not included in the calculation of the cyclic properties.

8.6.2 Evaluation of stabilised hysteresis

The cyclic material properties apply for stabilised material behaviour. Stabilised material behaviour is assumed at half the number of cycles before crack initiation. The stress and strain hysteresis at half the number of cycles until failure. They are therefore used to determine the cyclic properties. The total strain amplitude ϵ_a and the stress amplitude σ_a are calculated from the extreme hysteresis values, see **Figure 8-3**.

8.6.3 Strain S-N curve

The strain S-N curve shows the relationship between endurable strain amplitude and the number of load cycles before crack initiation (**Figure 8-4**).

According to Manson-Coffin /8.3/, the strain S-N curve can be described by the following equation:

$$\epsilon_{a,t} = \epsilon_{a,e} + \epsilon_{a,p} = \frac{\sigma_f'}{E(2N_i)^b} + \epsilon_f'(2N_i)^c$$

where

- σ_f' cyclic fatigue strength coefficient [MPa],
- b cyclic fatigue strength exponent,
- ϵ_f' cyclic ductility coefficient [mm],
- c cyclic ductility exponent,
- E Young's modulus [GPa]

In a log-log plot the test points can be approximated by straight lines according to Manson-Coffin.

In a log-log plot of the elastic or plastic strain amplitudes vs. the number of cycles before failure, the test points can be approximated by straight lines (**Figure 8-4**). These can be calculated from the test results by means of linear regression. In this respect, the number of cycles is the dependent variable and the strain amplitude is the independent variable, i.e. $N = f(\epsilon)$. The coefficients of

the Manson-Coffin equation describe the position and gradient of the straight lines. The overall strain S-N curve is given by adding the straight lines.

The modulus of elasticity is used to divide the total strain $\varepsilon_{a,t}$ into an elastic component $\varepsilon_{a,e}$ and a plastic component $\varepsilon_{a,p}$. The elastic strain component is calculated from

$$\varepsilon_{a,e} = \frac{\Sigma_a}{E}$$

For steels, the literature value for the modulus of elasticity is to be applied with 206 GPa. It cannot be determined alone from the tensile test.

The modulus of elasticity is determined from the turning point of the stabilised hysteresis, which does not have a plastic component.

For deviating behaviour, a different modulus of elasticity can be chosen; this must be documented.

The plastic strain component is obtained by subtracting the elastic component from the total strain:

$$\varepsilon_{a,p} = \varepsilon_{a,t} - \varepsilon_{a,e}$$

For the determination of mean straight lines, plastic strain values $< 0.01\%$ are not taken into consideration. In this case, the elastic strain component is assumed to be the same as the total strain.

8.6.4 Cyclic stress-strain curve

The cyclic stress-strain curve (**Figure 8-5**) describes the cyclic material behaviour. According to Ramberg and Osgood /8.4/, it is described by the following equation:

$$\varepsilon_{a,t} = \varepsilon_{a,e} + \varepsilon_{a,p} = \frac{\sigma_a}{E} + \left(\frac{\sigma_a}{K'} \right)^{1/n'}$$

where

K' = the cyclic strain hardening coefficient [MPa],

n' = the cyclic strain hardening exponent and

E = Young's modulus [MPa].

K' corresponds to the stress amplitude for a plastic strain amplitude of 100 % and n' describes the gradient of the straight lines in a log-log plot (**Figure 8-6**).

Compatibility conditions can be used to calculate K' and n' from the coefficients of the strain S/N curve:

$$n' = \frac{b}{c}$$

$$K' = \frac{\sigma_f'}{\varepsilon_f'^{\frac{b}{c}}}$$

Another property of the cyclic stress-strain curve is the cyclic yield strength $R'_{p0.2}$. This value can be given in the graphical representation of the cyclic stress-strain curve (**Figure 8-8**), as well as in the test report.

8.7 Statistics

Strain S-N curves and cyclic stress-strain curves are calculated for a 50 % probability of survival.

The elastic and plastic strain S-N curves and the straight line for plastic strain in the cyclic stress-strain curve are calculated on log-log scale by means of linear regression. As far as the cyclic stress-strain curve is concerned, the stress is the dependent variable, and for the strain S-N curve the number of cycles is the dependent variable.

8.8 Graphical representation of the results

A standardised graphical representation should be used for comparison purposes.

Axis labels, scale, curve description, legend and layout are shown in **Figure 8-7** and **Figure 8-8**. If stress values in the stress-strain curve exceed 1 000 MPa, the scale of the stress axis should be increased to 1 500 MPa, instead of the scale shown in **Figure 8-9**.

For comparison purposes, in the graphical representation of the cyclic stress-strain curve the continuous stress-strain curve is also included. This is calculated from the initial load hysteresis of the test with the highest strain amplitude in a test series.

8.9 Data

8.9.1 Recording

Testing must be monitored by means of analogous or digital records of the local strain. Additionally, the load (stress), the piston travel and the number of cycles must be recorded digitally. As far as the digital recording of complete stress-strain hysteresis are concerned: the first 5 evaluable hysteresis within the range $N/2 \pm 5\%$ (resolution of at least 100 dots / hysteresis) must be recorded.

For load horizons for which 3 results are obtained, at least one complete set of hysteresis (the first 5 hysteresis and the stabilised hysteresis) starting in the tension direction must be recorded. It should be tried to adopt this procedure for the lowest load horizons, for which there are usually individual results. Different strain levels are permitted in this respect.

8.9.2 Raw data

The raw data must be recorded in the form of a table

8.9.3 Properties ((Characteristics))

The determined properties must be recorded in the form of a table

8.10 Symbols

A	mm ²	Test cross section
W	mm	Width of the flat specimen in the test cross section
b	–	Cyclic stress exponent
c	–	Cyclic ductility exponent
E	GPa	Modulus of elasticity
$\varepsilon_{a,e}$	%	Elastic strain amplitude
$\varepsilon_{a,p}$	%	Plastic strain amplitude
$\varepsilon_{a,t}$	%	Total strain amplitude
ε'_f	–	Cyclic ductility coefficient
ε_{\max}	%	Strain at the upper vertex of hysteresis
ε_{\min}	%	Strain at the lower vertex of hysteresis
$\Delta\varepsilon$	%	Strain range
F_A	N	Application load of the extensometer
f_{initial}	s ⁻¹	Initial load frequency
f_{test}	s ⁻¹	Test frequency
K'	MPa	Cyclic hardening coefficient
K_t	–	Stress concentration factor
l_0	mm	Measured length between the cutters of the extensometer
M_T	Nm	Tightening torque for the buckling guide
n'	–	Cyclic hardening exponent
N_i	–	Cycles before crack initiation (10 % drop in stress amplitude)
N_f	–	Cycles to failure
N_{TE}	–	Number of cycles at end of test
P_S	%	Probability of survival
R_ε	–	Strain ratio
R_m	MPa	Tensile strength
$R_{p0,2}$	MPa	0.2 % yield stress
$R'_{p0,2}$	MPa	Cyclic 0.2 % yield stress
R_σ	–	Stress ratio
σ_a	MPa	Stress amplitude
σ'_f	MPa	zyklischer Spannungskoeffizient
σ_{\max}	MPa	Cyclic stress coefficient
σ_{\min}	MPa	Stress at upper vertex of hysteresis
t	mm	Thickness of flat specimen
T	K	Test temperature

9 Fracture properties for crash and forming simulation

9.1 Objective

Experimental determination of the fracture properties of sheet steel materials has become an important part of material characterization for CAE calculations of sheet metal parts.

Therefore, this clause has been included in the new edition of SEP 1240.

9.2 Overview

This clause specifies experimental tests for determination of the following fracture properties: fracture strain at uniaxial tension, at plane strain tension and at biaxial tension. These fracture properties can be used to predict fracture initiation in crash or forming simulation.

Note: As no widely accepted agreement has yet been reached on a test method to determine the fracture strain at shear, no experimental test for determination of the fracture behaviour by shear is specified.

9.3 General test conditions

General test conditions are specified in clauses 3.1 and 3.2.

The test equipment is specified below for the relevant test.

In addition, a two-dimensional or three-dimensional digital image correlation (DIC) system is required. The DIC system should enable recording of pictures at a frequency of at least 20 Hz and a respective resolution to allow for a virtual strain reference length of 0.2 mm.

9.4 Samples and preparation

9.4.1 Sampling

Sample material shall be taken out of the inner region of the coil width. The rolling direction shall be documented. (see 3.1)

Preferentially, the longitudinal axis of the sample is oriented perpendicular to the rolling direction. A different orientation is also allowed but shall be documented.

It is recommended to use material in paint-baked condition BH0 (170 °C/20 min, see 3.2.2) for specimen manufacturing. Alternatively, material in the as-delivery condition can be used. The condition of the material (temperature and dwelling time or as-delivered condition) is to be documented.

9.4.2 Specimen geometry

The geometry of the test area of three different types of specimens is specified in clauses 9.5 to 9.7.

Other geometrical characteristics of the specimens, e.g. the clamping heads, may vary. Some examples of acceptable specimen geometries are shown in clauses 9.5 and 9.6.

9.4.3 Production of specimens

The production technique must not affect mechanical properties and microstructure of the material in the gauge length.

The outer edges of the specimen can be produced either by milling, laser cutting, electrical discharge machining, or grinding. Indications for other geometrical features are given for the respective specimen type in clauses 9.5 and 9.6. The applied production process is to be documented.

9.4.4 Surface condition

As DIC is used for strain measurement, a surface pattern (e.g., speckles) shall be applied on the test area of each specimen. It has to be ensured that the surface speckle remains evaluable during the test as long as possible.

For AISi-coated sheet steels, the AISi coating shall be removed, preferably by sandblasting or pickling. Alternatively, the AISi coating can be removed by grinding. Grinding should be performed in the longitudinal direction of the uniaxial specimen or in circumferential direction for the biaxial specimen to reduce its negative impact on the local ductility. The applied process (sandblasting, pickling, or grinding as well as its direction) shall be documented.

9.4.5 Application of the DIC system

When DIC is applied it must be ensured:

- a minimum frequency of 2 Hz from the onset of the test until the maximum force,
- a minimum frequency of 20 Hz from the maximum force until the specimen fracture.

If the DIC system cannot provide a frequency of 20 Hz, the maximum possible frequency above 2 Hz shall be applied.

A virtual strain reference length $l_{h_0}^v$ of 0.2 mm is recommended for the DIC. However, a larger virtual strain reference length $l_{h_0}^v$ is also allowed. The applied virtual strain reference length $l_{h_0}^v$ shall be documented in the header of the data file with results of the deformation analysis.

The virtual strain reference length $l_{h_0}^v$ shall be determined for the reference stage of the DIC at the beginning of the test. Based on this virtual strain reference length $l_{h_0}^v$, strains are to be calculated in all subsequent stages of the DIC during the test. For correct setting of the virtual strain reference length $l_{h_0}^v$, the user is referred to the manual of the DIC system used.

9.4.6 Termination criterion for the test

The termination criterion for each test is specimen failure through visible fracture. At least three tests shall be performed. If the results of these three tests show a relative deviation of more than 5 % in the maximum force and a relative deviation of more than 5 % in the displacement at specimen fracture, two additional tests shall be performed.

9.5 Uniaxial tensile test on a specimen with a hole

9.5.1 Test Equipment

The test equipment for the uniaxial tensile test according to EN ISO 6892-1 is specified in clause 4.2.

9.5.2 Specimen types

The specimen (**Figure 9.5.1**) shall be manufactured in agreement with the following specifications:

- The specimen must have an area of constant width of 20 ± 0.1 mm along the longitudinal specimen axis of at least 100 mm,
- the specimen area of constant width shall contain a hole with a diameter of 10 ± 0.05 mm in its middle.

The hole can be produced by milling, laser cutting, or electrical discharge machining. The applied production process is to be documented.

9.5.3 Measurement of specimens before the test

The specimen dimensions (see **Figure 9.5.2**) must be measured before the test and documented:

- initial thicknesses t_{h01} and t_{h02} ,
- initial widths w_{h01} and w_{h02} ,
- initial hole diameter d_h

An initial gauge length l_{h0} of 20 mm is recommended. A larger gauge length l_{h0} is also allowed. The gauge length l_{h0} is to be documented in the data file with the force-displacement data.

9.5.4 Test procedure

Tests are performed at room temperature. The tensile speed shall be set between 0.003 mm/s and 0.2 mm/s.

Time t , force F , and displacement Dl_{h0} based on l_{h0} are to be recorded continuously.

The termination criterion for each test is specified in 9.4.6.

9.5.5 Evaluation and documentation

According to 9.8, the following data are to be determined and documented for each specimen:

- The initial dimensions (see **Figure 9.5.2**) in the data file with force-displacement data,
- DIC data in the data file with results of deformation analysis,
- The minimum thickness on each of the two fracture surfaces (see **Figure 9.5.2**) in the data file with results of thickness measurements.

9.6 Uniaxial tensile test on the specimen with notches

9.6.1 Test equipment

See 9.5.1

9.6.2 Specimen types

The specimen shall be manufactured in agreement with the following specifications:

- The specimen must have an area of constant width of 20 ± 0.1 mm along the longitudinal specimen axis of at least 100 mm,
- the specimen area of constant width shall contain two semi-circular notches with a radius of each 5 ± 0.05 mm in its middle, mirrored along the specimen symmetry plane.

The notches can be produced by milling, laser cutting or electrical discharge machining. The applied production process is to be documented.

9.6.3 Measurement of specimens before the test

The specimen dimensions (see **Figure 9.6.2**) must be measured before the test and documented:

- initial thicknesses t_{h01} and t_{h02} ,
- initial widths w_{h01} and w_{h02} ,
- Initial width of the waist w_w

An initial gauge length l_{h0} of 20 mm is recommended. However, a larger gauge length l_{h0} is also allowed. The gauge length l_{h0} is to be documented in the data file with the force-displacement data.

9.6.4 Test procedure

Tests are performed at room temperature. The tensile speed shall be set between 0.003 mm/s and 0.2 mm/s.

Time t , force F , and displacement Δ/l_{h0} based on l_{h0} are to be recorded continuously.

The termination criterion for each test is specified in 9.4.6.

9.6.5 Evaluation and documentation

According to 9.8, the following data are to be determined and to be documented:

- The initial dimensions (see **Figure 9.6.2**) in the data file with force-displacement data,
- DIC data in the data file with results of deformation analysis,
- The minimum thickness on at least one side of the specimen (see **Figure 9.6.3**) in the data file with results of thickness measurements

9.7 Biaxial tensile test or hydraulic bulge test

9.7.1 Test equipment

The test equipment is specified in EN ISO 12004-2 and EN ISO 16808.

9.7.2 Specimen types

The specimen shall be manufactured in agreement with the following specifications:

- circle with a minimum diameter of 170 mm or
- square with a minimum edge length of 170 mm.

Milling, laser cutting, electrical discharge machining, grinding, or shear punching can be used. The applied production process is to be documented.

The removal of the AISi coating can be done by grinding with a rotating grinding disk centered at the specimen center.

9.7.3 Measurement of specimens before the test

The specimen dimensions must be measured before the test and documented:

- initial thicknesses t_{b01} in the specimen middle or as an average of at least four measurements along the specimen edge

9.7.4 Test procedure

Tests are performed at room temperature.

The test speed must be defined with respect to the specimen pole as follows:

- biaxial tensile test: 1.5 mm/s \pm 0.5 mm/s
- hydraulic bulge test: 0.2 mm/s

Time t , force F (biaxial tensile test) or pressure p (hydraulic bulge test), and displacement Δ/l_{b0} of the specimen pole are to be recorded continuously.

The termination criterion for each test is specified in 9.4.6.

9.7.5 Evaluation and documentation

According to 9.8, the following data are to be determined and documented:

- The initial dimensions (see 9.7.3) in the data file with force-displacement data,
- DIC data in the data file with results of deformation analysis,
- The minimum thickness in a circle of 20 mm in diameter around the pole of the dome on at least one side of the fracture surfaces, t_{b11} or/and t_{b12} in the data file with results of thickness measurements

9.8 Documentation of results

All numerical values in the data file are to be documented with at least two digits after comma.

9.8.1 Data file with force-displacement data

The following data are to be documented:

- Orientation of the specimen to the rolling direction,
- Heat treatment condition of the material (temperature and dwelling time, or as-delivered),
- Surface condition (with coating, or coating removed and process, evtl. direction),
- initial dimensions,

For each test type, different data are to be documented.

- Test speed,
- Uniaxial tensile test (specimen with a hole or notches): continuously recorded data (time, force, displacement Δl_{h0} based on l_{h0})
- Biaxial tensile test or hydraulic bulge test: continuously recorded data (time, force, displacement Δl_{b0} of the specimen pole)

An example of the data file with a force displacement curve is shown in clause 12.7.

9.8.2 Data file with results of deformation analysis

Three types of data from the DIC must be documented after each test:

- continuously recorded deformation path of the critical facet with the center of the coordinate system in the specimen center of gravity and the y axis along the longitudinal specimen axis,
- deformation analysis of the critical area of at least 3 facets x 3 facets large with the critical facet in the center,
- a picture of the last frame before specimen fracture with the complete unclamped area of the specimen.

Note: The deformation path is defined as a time sequence of data pairs consisting of the first principal in-plane true strain and the second principal in-plane true strain.

The continuously recorded deformation path of the critical facet is to be documented from the onset of the test until the specimen fracture. As the critical facet, the facet with the highest von Mises equivalent strain of the last frame before specimen fracture is defined.

The following data shall be recorded and documented:

- time t,
- x coordinate,
- y coordinate,
- z coordinate,

- von Mises equivalent strain $\bar{\varepsilon}$,
- first principal in-plane true strain ε_I ,
- second principle in-plane true strain ε_{II} .

The deformation analysis of the critical area for selected frames is to be documented for at least three frames before the maximum force, at least three frames after the maximum force, and at least five frames before specimen fracture.

The critical area is defined as area of at least 3 facets x 3 facets large with the critical facet in the center. The numbering of facets of the critical area is carried out line-wise, beginning with the upper left facet line by line from left to right and from top to bottom.

An example of the data file with results of a deformation analysis is shown in clause 12.8.

9.8.3 Data file with results of thickness measurement

Thicknesses of the specimen (see sketch for each test type) shall be measured and documented after each test. The thickness measurement on at least one half of the fractured specimen must be carried out.

An example of the data file with results of a thickness measurement is shown in clause 12.9.

9.9 Symbols and abbreviations for Clause

Δl_{h0}	mm	displacement related to initial gauge length l_{h0}
Δl_{n0}	mm	displacement related to gauge length l_{n0}
Δl_{b0}	mm	displacement of specimen pole
$\bar{\varepsilon}$	–	von Mises equivalent strain
ε_I	–	first principal in-plane true strain
ε_{II}	–	second principle in-plane true strain
d_h	mm	initial diameter of the hole of the specimen with a hole
F	N	force
l_{h0}	mm	initial gauge length of the specimen with a hole for tactile or optical determination of displacement
l_{n0}	mm	Initial gauge length of the specimen with notches for tactile or optical determination of displacement
l_{b0}^v	mm	virtual strain reference length of the specimen for the biaxial tensile test or hydraulic bulge test
l_{h0}^v	mm	virtual strain reference length of the specimen with a hole
l_{n0}^v	mm	virtual strain reference length of the specimen with notches
n	–	facet number
p	bar	hydraulic pressure
t	s	time
t_{b01}	mm	initial thickness of the specimen for the biaxial tensile test or hydraulic bulge test
t_{b11}	mm	thickness of the specimen for the biaxial tensile test or hydraulic bulge test after the test on fractured surface 1
t_{b12}	mm	thickness of the specimen for the biaxial tensile test of hydraulic bulge test after the test on fractured surface 2
t_{h01}	mm	initial thickness of the specimen with a hole at position 1

t_{h02}	mm	initial thickness of the specimen with a hole at position 2
t_{h11}	mm	thickness of the specimen with a hole after the test at position 1 on fractured surface 1
t_{h12}	mm	thickness of the specimen with a hole after the test at position 2 on fractured surface 1
t_{h13}	mm	thickness of the specimen with a hole after the test at position 1 on fractured surface 2
t_{h14}	mm	thickness of the specimen with a hole after the test at position 2 on fractured surface 2
t_{n01}	mm	initial thickness of the specimen with notches at the specified position
t_{n11}	mm	thickness of the specimen with notches after the test at position 1 on fractured surface 1
t_{n12}	mm	thickness of the specimen with notches after the test at position 1 on fractured surface 2
w_{h01}	mm	initial width of the specimen with a hole at position 1
w_{h02}	mm	initial width of the specimen with a hole at position 2
w_{n01}	mm	initial width of the specimen with notches measured on notch 1
w_{n02}	mm	initial width of the specimen with notches measured on notch 2
w_w	mm	initial width of the specimen with notches at the waist of the
x	mm	x-coordinate
y	mm	y-coordinate
z	mm	z-coordinate

10 References

10.1 Literature

- /5.1/ Hesse, B.; Sonne, H.-M.; Robiller, G. Verfahren zur Steigungsbestimmung der Hookeschen Geraden (E-Modul) im rechnergesteuerten Zugversuch, Thyssen Techn. Ber. (1994)1,115-121
- /8.1/ Graining stick manufactured by Tyrolit, designation: 52MS, spec. C80-BE15, 50 mm diameter
- /8.2/ Supplier: Resch; designation: DKCM
- /8.3/ Manson, S. S. Fatigue: A Complex Subject – Some Simple Approximations Experimental Mechanics, Vol. 5, 7, 1965, pp. 193-226
- /8.4/ Ramberg, W., Osgood, W.R. Description of Stress-Strain Curves by Three Parameters Technical Note No. 902, NACA, 1943

10.2 Normative References

General

EN ISO 21920-1 Geometric product specifications (GPS) – Surface texture: Profile – Part 1: Indication of surface texture

EN ISO 6892-1 Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of testing at ambient temperature

EN ISO 6892-2 Tensile testing of metallic materials – Part 2 method of testing at elevated temperature

EN ISO 6892-2 Metallic materials – Tensile testing – Part 3: Method of test at low temperature

EN ISO 10113 Metallic materials – Sheet and strip – Determination of plastic strain ratio (r value)

EN ISO 10275 Metallic materials – Sheet and strip – Determination of tensile strain hardening exponent (n value)

EN ISO 643 Steels – Micrographic determination of the apparent grain size

Clause 5

EN 10325 Steel – Determination of yield strength increase by the effect of heat treatment (Bake-Hardening-Index)

EN ISO 16808 Metallic materials – Sheet and strip – Determination of biaxial stress-strain curve by means of bulge test with optical measuring systems

SEP 1235 Determination of the modulus of elasticity on steels by tensile testing at room temperature

Clause 6

EN ISO 12004-1 Metallic materials – Determination of forming-limit curves for sheet and strip – Part 1: Measurement and application of forming-limit diagrams in the press shop

DIN EN ISO 12004-2 – Part 2: Measurement and application of forming-limit diagrams in the lab

Clause 7

EN ISO 26203-1 Metallic materials – Tensile testing at high strain rates – Part 1: Elastic-bar-type systems

SEP 1230 Determination of Mechanical Properties of Sheet Metal Materials at High Strain Rates in a High-Speed Tensile Test

Clause 8

ISO 12106 Metallic materials – Fatigue testing – Axial-strain-controlled method

ASTM E606 Standard Test Method for Strain-Controlled Fatigue Testing

EN ISO 9513 Metallic materials – Calibration of extensometer systems used in uniaxial testing

11 WG Members

Since the first edition, the following companies have contributed:

ArcelorMittal, Maizières
 ThyssenKrupp Nirosta GmbH
 Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH
 thyssenkrupp Steel Europe AG
 voestalpine Stahl GmbH
 SSAB Swedish Steel
 TATA Steel Europe
 Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin (BAM)
 Institut für Eisenhüttenkunde (IEHK) der RWTH Aachen University
 Institut für Maschinelle Anlagentechnik und Betriebsfestigkeit (IMAB) der
 TU Clausthal
 Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit (LBF)
 Audi AG
 BMW Group
 Mercedes-Benz Group AG
 Ford-Werke GmbH
 Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft
 Wilhelm Karmann GmbH (bis 2009)
 Volkswagen Aktiengesellschaft
 Opel Automobile GmbH – ab 2019 Stellantis
 Faurecia Autositze GmbH
 Gestamp Autotechn Engineering Deutschland
 Kirchhoff Automotive Deutschland GmbH
 MAGNA-Cosma Engineering Europe

12 Examples of standardized data files

12.1 Chemical analysis

material norm name	= DC04
producer	= SZAG
material number norm	= 1.0338
material name	= ST14
material norm	= DIN EN 10130
remark	=
plate thickness <mm>	= 1.00
C <%>	= 0.025
Si <%>	= 0.012
Mn <%>	= 0.19
P <%>	= 0.008
S <%>	= 0.006
Al <%>	= 0.054
Cr <%>	= 0.022
Ni <%>	= 0.034
Mo <%>	= 0.003
Cu <%>	= 0.013

V <%>	=	0.003
Nb <%>	=	0.001
Ti <%>	=	0.002
Sn <%>	=	0.01
N <%>	=	0.005
skin pass rolling	=	yes
degree of skin pass rolling <%>	=	1.5
method of annealing	=	D
surface condition	=	hot galvanized

12.2 Plasticity parameters of dynamic tensile test

material norm name	=	DC04
material number norm	=	1.0338
material name	=	ST14
test	=	high speed
sample ident number	=	H_DC04_U_L_2_Q_W1_296_20_a
sample geometry	=	IEHK-ZUGPROBE 20mm
sample direction	=	transversal
nominal pre-deformation <%>	=	2
actual pre-deformation <%>	=	2.1
direction of pre-deformation	=	longitudinal
heat treatment	=	W170
actual sample width <mm>	=	10.01
actual sample thickness <mm>	=	0.98
actual gauge length <mm>	=	20.0
nominal testing temperature <K>	=	296
nominal testing speed <mm/s>	=	400
actual testing speed <mm/s>	=	390
nominal strain rate <1/s>	=	20.0
actual creep characteristics <1/s>	=	19.5
order	=	
date of test <dd.mm.yyyy>	=	27.11.1998
tester	=	(name)
place of test	=	(place)
remark	=	
data	=	
time <s>;power <N>;distance <mm>		
0;0;0		
1;3;0.01		

12.3 Plasticity parameters

material norm name	=	DC04
material number norm	=	1.0338
material name	=	ST14
test	=	stress strain curve
sample ident number	=	F_DC04_U_L_2_Q_O_373_c
sample geometry	=	DIN EN 10002-1 Form 2
sample direction	=	transversal
nominal pre-deformation <%>	=	2
actual pre-deformation <%>	=	2.1
direction of pre-deformation	=	longitudinal
heat treatment	=	A
actual sample width <mm>	=	20.021
actual sample thickness <mm>	=	0.98

actual gauge length <mm> = 80.0
 actual testing temperature <K> = 373
 nominal testing speed <mm/s> = 0.32
 actual testing speed <mm/s> = 0.32
 nominal strain rate <1/s> = 0.004
 actual creep characteristics <1/s> = 0.004
 order =
 date of test <dd.mm.yyyy> = 11.11.1998
 tester = (name)
 place of test = (place)
 remark =
 data =
 time <s>;power <N>; distance <mm>; variation of width <mm>
 0;0;0;01;3;0.01;0.001

12.4 Elasticity parameters

material norm name = DC04
 material number norm = 1.0338
 material name = ST14
 test = elastic
 sample ident number = E_DC04_U_L_5_Q_W1_296_c
 sample geometry = DIN EN 10002-1 FORM 2
 sample direction = transversal
 nominal pre-deformation <%> = 5
 actual pre-deformation <%> = 4.8
 direction of pre-deformation = longitudinal
 heat treatment = W170
 actual sample width <mm> = 19.901
 actual sample thickness <mm> = 0.98
 actual gauge length <mm> = 80.5
 nominal testing temperature <K> = 296
 nominal testing speed <m/s> = 0.00032
 order =
 date of test <dd.mm.yyyy> = 27.11.1998
 tester = (name)
 place of test = (place)
 remark =
 data =
 time <s>;power <N>;distance <mm>;width<mm>
 0;0;0;19.901
 1;3;0.01;19.901

12.5 Forming limit curve

material norm name = DC04
 material number norm = 1.0338
 material name = ST14
 test = GFS
 sampl id number = G_DC04_U_L_0_O_296_a
 sample geometry = VDEH-Richtlinie
 sample direction = transversal
 nominal pre-deformation <%> = 0
 heat treatment = A
 actual sample thickness <mm> = 0.98

nominal testing temperature <K> = 296
 nominal testing speed <m/s> = 1
 actual testing speed <m/s> = 1.2
 order =
 date of test <dd.mm.yyyy> = 27.11.1998
 tester = (name)
 place of test = (place)
 remark =
 data =
 major in plane strain <1>; minor in plane strain <1>
 0.2;0.1

12.6 Cyclical parameters

\$Z15L01Y.cyc

\$

\$ Recording pattern for data from extension-controlled fatigue tests

\$ to determine cyclical material parameters

\$

\$ ++++++

\$

\$ ***** Annotations to filling in of header *****

\$ The given abbreviations must be observed.

\$ The sequence of rows is fixed.

\$

\$

BEGINN_HEADER_PRUEFUNG

LOAD_FORMAT =

\$

order =

date of test <dd.mm.yyyy> = 27.11.1998

\$

\$ date of test = end of test series

\$

tester = (name)

place of test = (place)

material norm name = DC04

material number norm = 1.0338

material name = St14

producer = Voest Alpine

test = cyclical mechanical

test series no = 123

sample geometry = cyclical parameters sheet, Richtlinie Zusammenar-
beit deutsche Automobilindustrie/VdEh

nominal sample width <mm> = 30

nominal sample thickness <mm> = 1.5

nominal measured length <mm> = 80

edge treatment = V

\$

\$ V = edges rounded off

\$ U = edges untreated

\$

surface edge = P

surface sample = U

\$

\$ P = polished
 \$ G = grinded
 \$ U = untreated
 \$
 sample direction = longitudinal
 \$
 \$ transversal = angle of 90° to rolling direction, longitudinal = 0°, diagonal = 45°
 \$
 nominal pre-deformation <%> = 2
 actual pre-deformation <%> = 1.8
 \$
 \$ possible values: 0, 2, 5, 10, 15
 \$
 direction of pre-deformation = longitudinal
 \$
 \$ transversal = angle of 90° to rolling direction, longitudinal = 0°, diagonal = 45°
 heat treatment = W170
 \$
 \$ A for state of delivery, W170 for bake hardening
 \$
 nominal testing temperature <K> = 296
 \$
 \$ possible values: 296, 233 or 373
 \$
 cutting edge contact force <N> = 2
 draught moment of kink support <Nm> = 0.05
 creep ratio <1> = -1
 number of measurements = 12
 \$

BEGINN_HEADER_MESSUNG

sample_ident_number; actual_sample_width <mm>; actual_sample_thickness <mm>; actual_
 frequency_first_load <1/s>; actual_frequency_test <1/s>; nominal_
 frequency_test;test_start;stress_cycles_end_of_test <1>;
 stress_cycles_power_decline <1>;crack_position;stretch_amplitude_TOT <%>;
 stretch_amplitude_PLA <%>; stretch_amplitude_ELA <%>; stress_amplitude
 <MPa>;max_stress_SMAX <MPa>;measurement_file
 Z15L01_001Ya;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Ya.hys
 Z15L01_001Yb;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yb.hys
 Z15L01_001Yc;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yc.hys
 Z15L01_001Yd;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yd.hys
 Z15L01_001Ye;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Ye.hys
 Z15L01_001Yf;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yf.hys
 Z15L01_001Yg;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yg.hys
 Z15L01_001Yh;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yh.hys
 Z15L01_001Yi;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yi.hys
 Z15L01_001Yj;30.01;1.51;1;10;10;Z;1E6;5.389E5;C;1.0;0.15;0.85;240.0;240.0;Z15L01
 _001Yj.hys

12.7 Data file with a force-displacement curve for the uniaxial tensile test on the specimen with a hole

material designation = CR1
 material specification = VDA 239-100
 preliminary surface preparation method = grinding
 preliminary surface preparation direction = along the specimen length
 heat treatment temperature <°C> = 170
 heat treatment dwelling time <min> = 20
 test method = uniaxial tensile test on a specimen with a hole
 date of the test = DD.MM.YYYY
 place of the test = place
 tester = (name)
 remark =
 specimen identification number = XYZ
 specimen geometry = specimen with a hole
 specimen orientation = transverse to the rolling direction
 nominal testing temperature <K> = 295.35
 actual testing temperature <K> = 295.35
 nominal testing speed <mm/s> = 0.32
 actual testing speed <mm/s> = 0.32
 initial thickness of the specimen t_{h01} <mm> = 1.41
 initial thickness of the specimen t_{h02} <mm> = 1.41
 initial width of the specimen w_{h01} <mm> = 4.99
 initial width of the specimen w_{h02} <mm> = 4.99
 initial diameter of the hole d_h <mm> = 10.02
 initial gauge length l_{h0} <mm> = 20.01
 continuously recorded data: time t <s>; force F <N>; displacement Δl_{h0} <mm>
 0.01; 0.01; 0.01

12.8 Data file with results of a deformation analysis for the uniaxial tensile test on a specimen with a hole

material designation = CR1
 material specification = VDA 239-100
 preliminary surface preparation method = grinding
 preliminary surface preparation direction = along the specimen length
 heat treatment temperature <°C> = 170
 heat treatment dwelling time <min> = 20
 test method = uniaxial tensile test on a specimen with a hole
 date of the test = DD.MM.YYYY
 place of the test = place
 tester = (name)
 remark =
 specimen identification number = XYZ
 specimen geometry = specimen with a hole
 specimen orientation = transverse to the rolling direction
 nominal testing temperature <K> = 295.35
 actual testing temperature <K> = 295.35
 nominal testing speed <mm/s> = 0.32
 actual testing speed <mm/s> = 0.32
 virtual strain reference length <mm> = 0.01
 Continuously recorded deformation path of the critical facet
 Time t <mm>; x coordinate x <mm>; y coordinate y <mm>; z coordinate z <mm>; von Mises equivalent strain $\bar{\epsilon}$ <>; first principal in-plane true strain ϵ_1 <>; second principal in-plane true strain ϵ_{II} <>
 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01

Deformation analysis of the critical area for selected frames before the maximum force
 Facet number n <>; Time <mm>; x coordinate x <mm>; y coordinate y <mm>; z coordinate z <mm>; von Mises equivalent strain $\bar{\epsilon}$ <>; first principal in-plane true strain $\epsilon_{I< >$; second principal in-plane true strain $\epsilon_{II< >$

1.00; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01

Deformation analysis of the critical area for selected frames

Facet number n <>; Time t <mm>; x coordinate x <mm>; y coordinate y <mm>; z coordinate z <mm>; von Mises equivalent strain $\bar{\epsilon}$ <>; first principal in-plane true strain $\epsilon_{I< >$; second principal in-plane true strain $\epsilon_{II< >$

1.00; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01; 0.01

12.9 Data file with results of a thickness measurement for the uniaxial tensile test on a specimen with a hole

material designation	=	CR1
material specification	=	VDA 239-100
preliminary surface preparation method	=	grinding
preliminary surface preparation direction	=	along the specimen length
heat treatment temperature <°C>	=	170
heat treatment dwelling time <min>	=	20
test	=	uniaxial tensile test on a specimen with a hole
date of the test	=	DD.MM.YYYY
place of the test	=	place
tester	=	(name)
remark	=
specimen identification number	=	XYZ
specimen geometry	=	specimen with a hole
specimen orientation	=	transverse to the rolling direction
nominal testing temperature <K>	=	295.35
actual testing temperature <K>	=	295.35
nominal testing speed <mm/s>	=	0.32
actual testing speed <mm/s>	=	0.32
initial thickness of the specimen t_{h01} <mm>	=	1.41
initial thickness of the specimen t_{h02} <mm>	=	1.41
initial width of the specimen w_{h01} <mm>	=	4.99
initial width of the specimen w_{h02} <mm>	=	4.99
initial diameter of the hole d_h <mm>	=	10.02
thickness of the specimen after fracture t_{h11} <mm>	=	0.41
thickness of the specimen after fracture t_{h12} <mm>	=	0.41
thickness of the specimen after fracture t_{h21} <mm>	=	0.41
thickness of the specimen after fracture t_{h22} <mm>	=	0.41

13. Figures and Tables

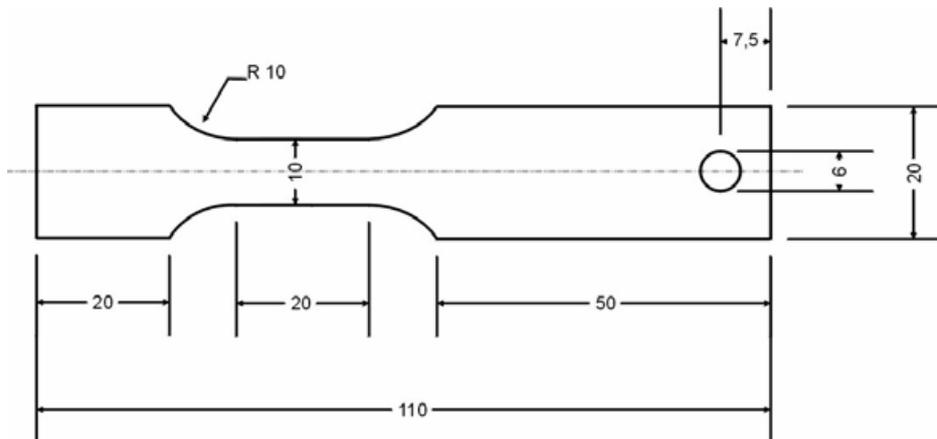


Figure 7-1. Preferred test specimen dimension for the dynamic tensile tests

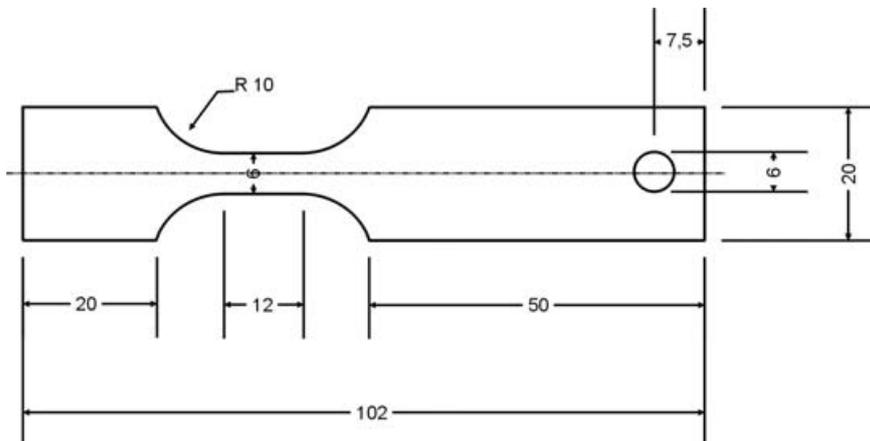


Figure 7-2. Specimen dimension with reduced width (b_0) for dynamic tensile tests

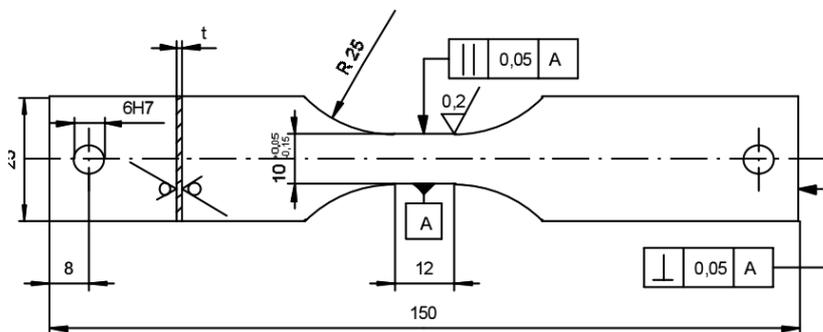


Figure 8-1. Specimen geometry for cyclic testing

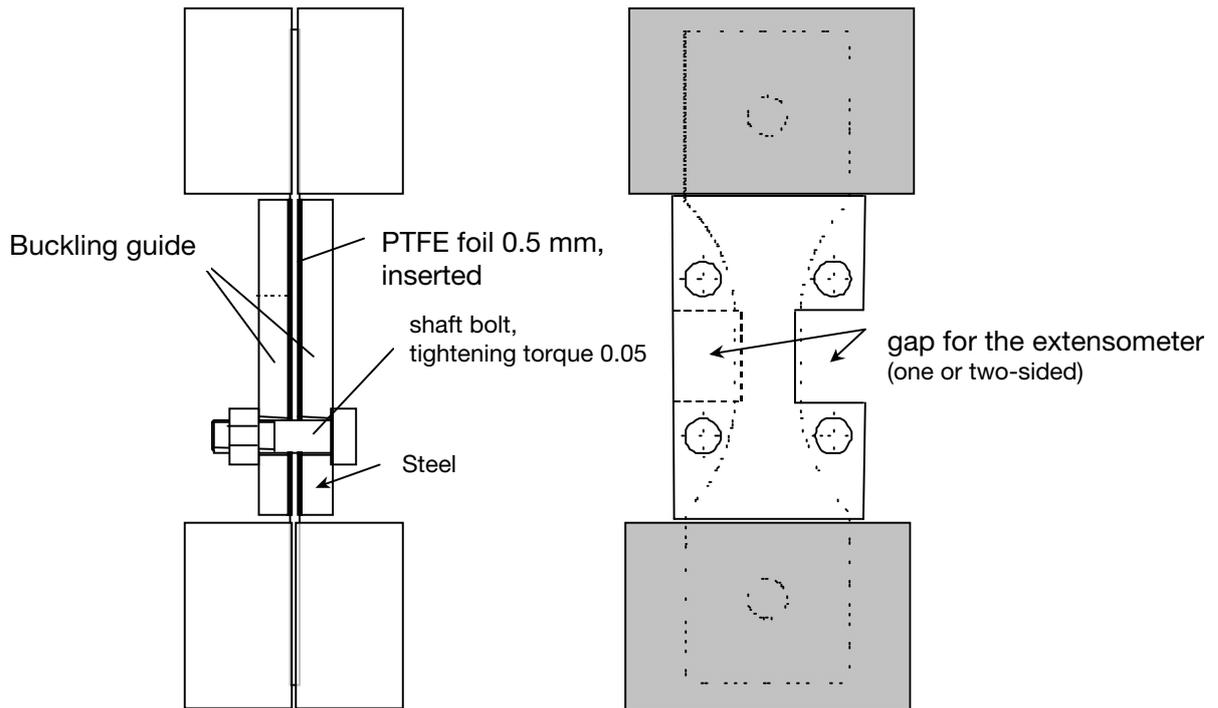


Figure 8-2. Buckling guide

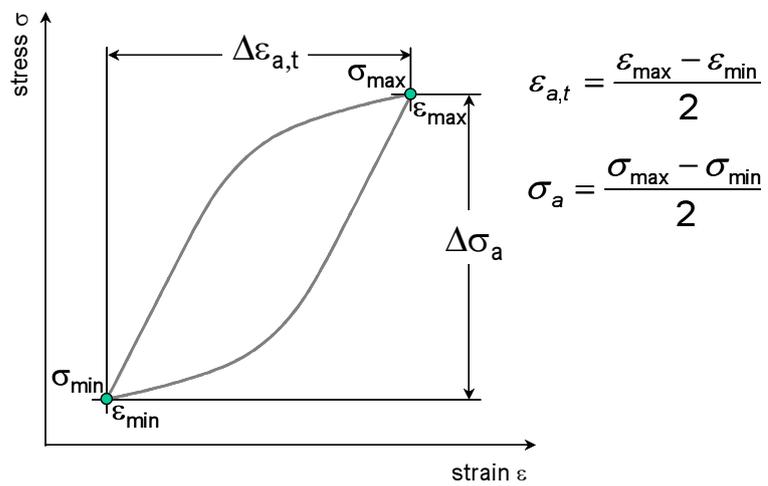


Figure 8-3. Determining the total strain and stress amplitudes

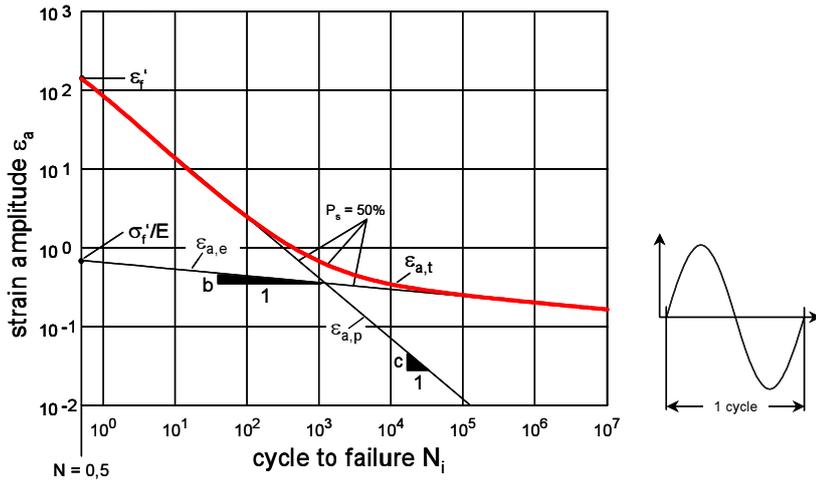


Figure 8-4. Graphical representation of the strain S/N-curve

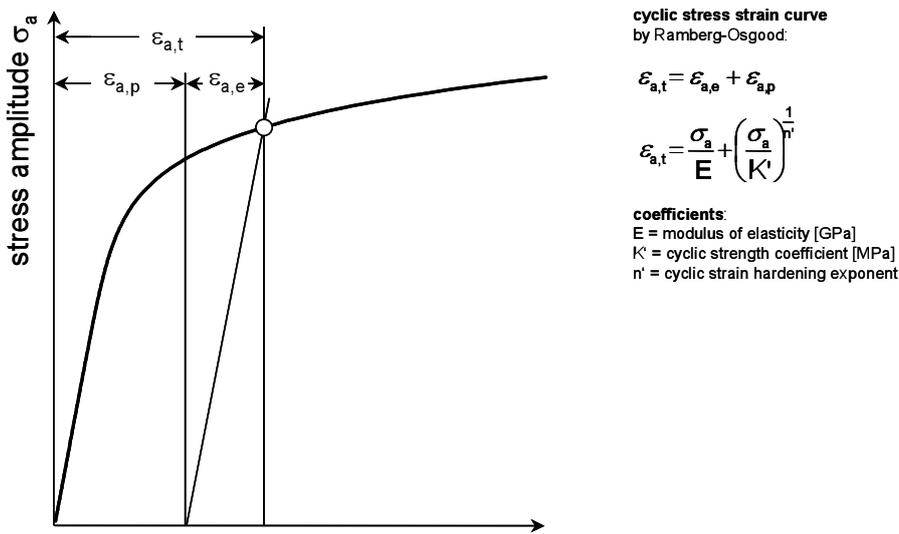


Figure 8-5. Graphical representation of the cyclic stress-strain curve

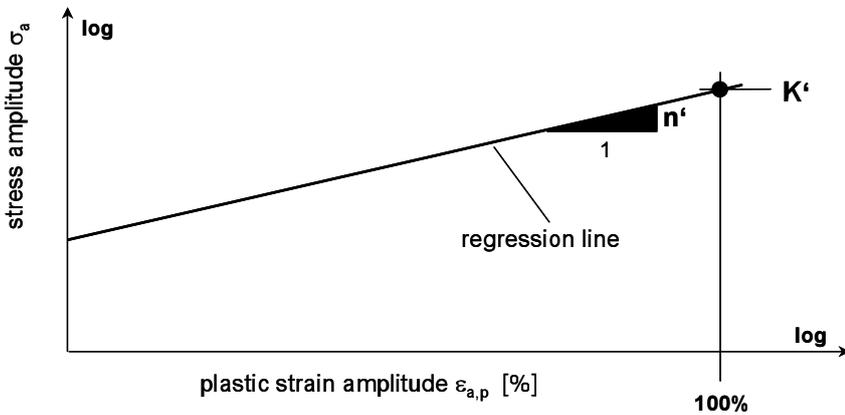


Figure 8-6. Properties of the cyclic stress-strain curve

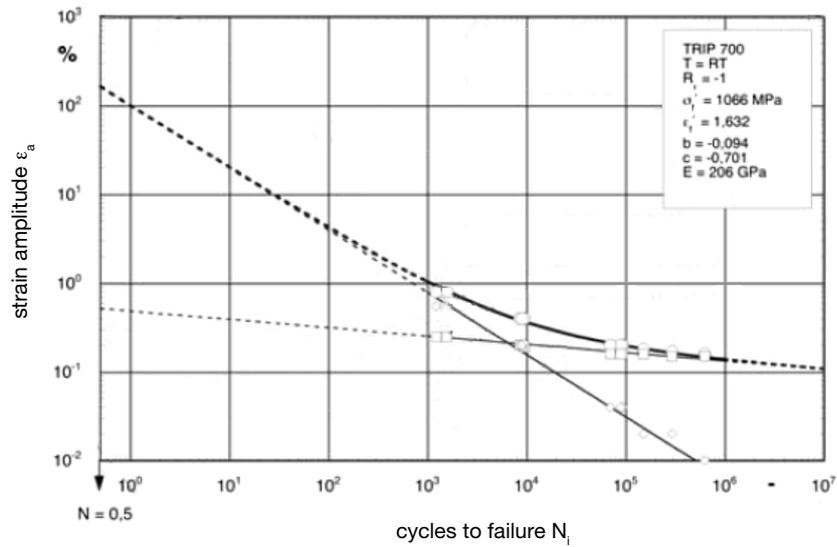


Figure 8-7. Graphical representation of the strain S-N curve

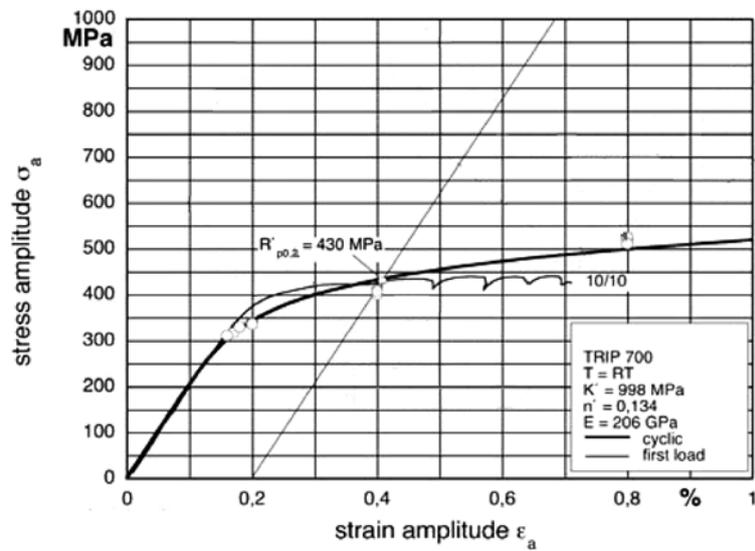


Figure 8-8. Graphical representation of the cyclic stress-strain curve

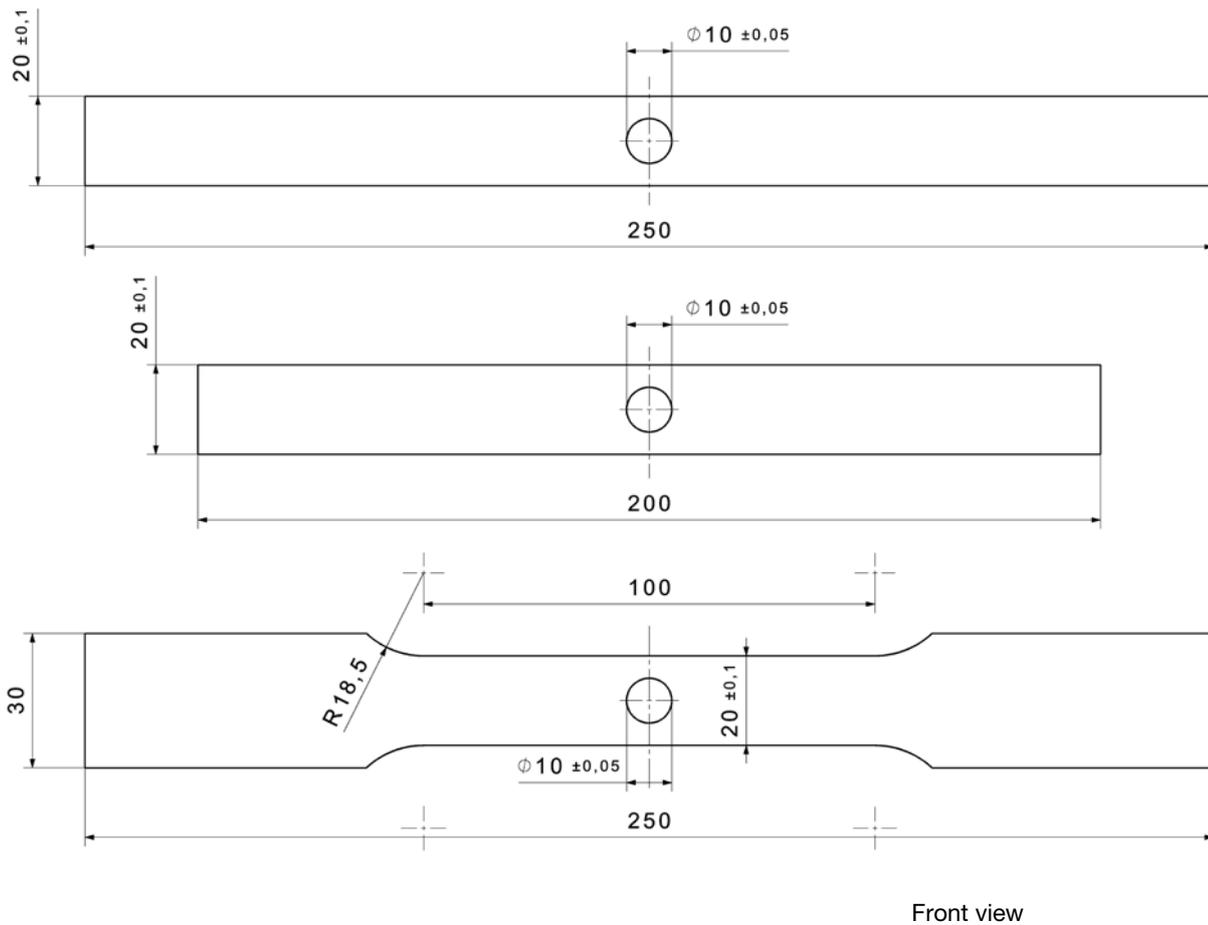


Figure 9.5.1. Acceptable geometries of specimens with a hole with a minimum test area length of 100 mm, a specimen width of 20 ± 0.1 mm and a hole diameter of 10 ± 0.05 mm

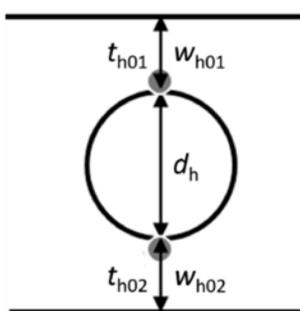


Figure 9.5.2. Locations for measurements of the initial thicknesses t_{h01} and t_{h02} , initial widths w_{h01} and w_{h02} , and the initial diameter d_h of the specimen with a hole before the test

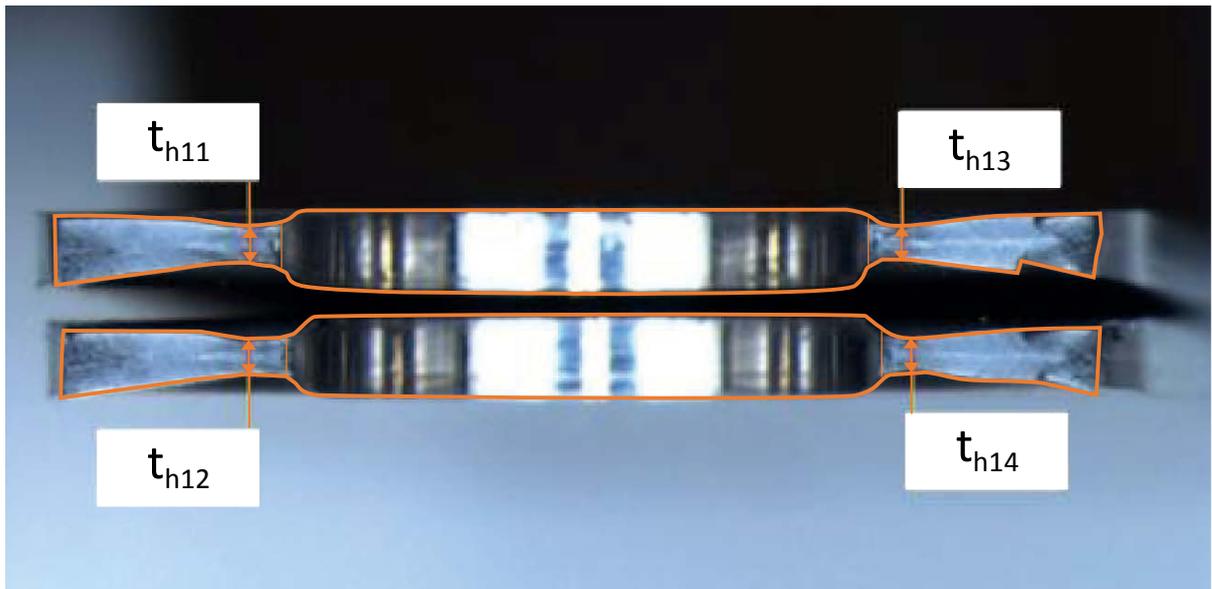


Figure 9.5.3. Schematic top view (left) and front view (right) of fracture surfaces of both specimen halves. Example locations for measurement of thicknesses t_{h11} , t_{h12} , t_{h13} , and t_{h14} on the specimen with a hole after the test

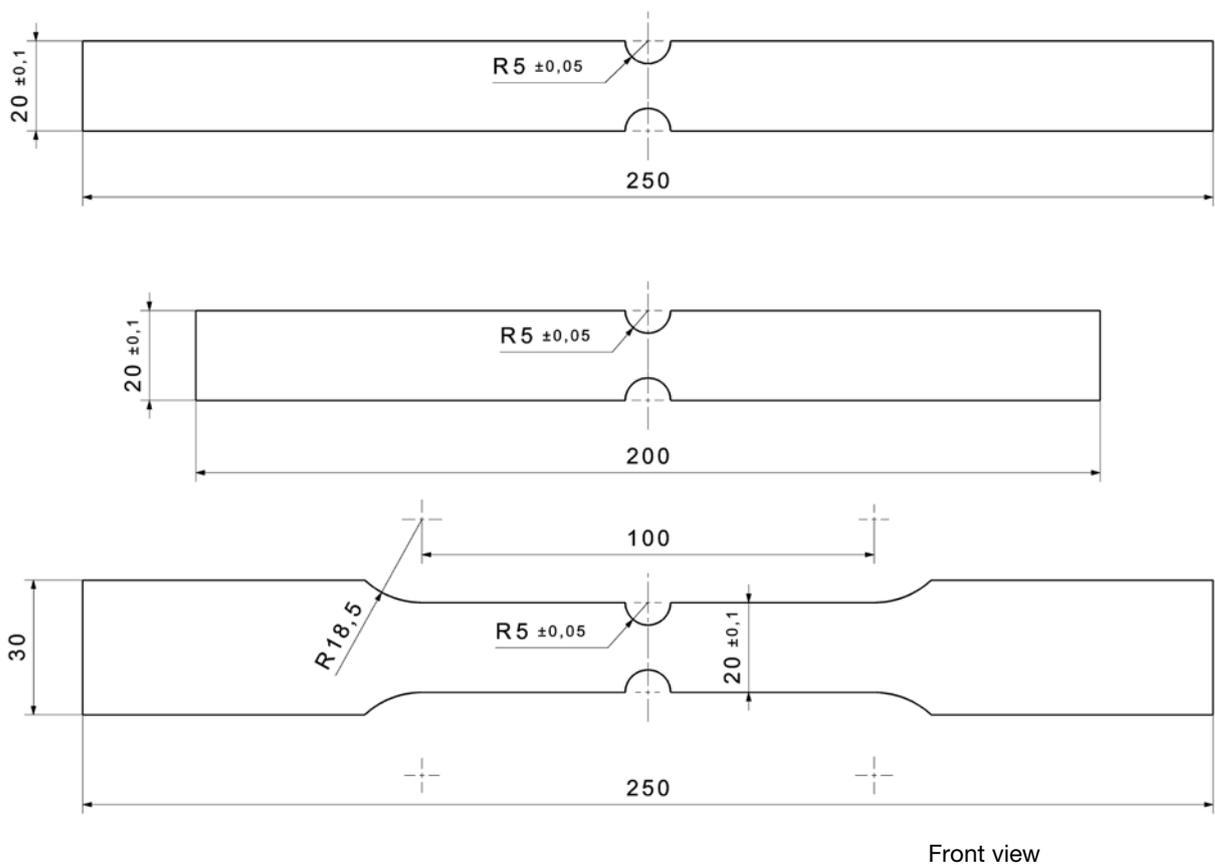


Figure 9.6.1. Acceptable geometries of specimens with notches with a specimen width of 20 ± 0.1 mm and a notch radius of 5 ± 0.05 mm

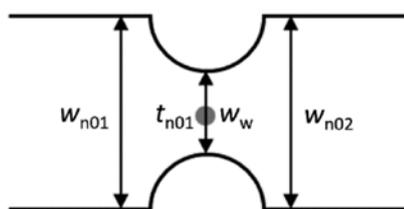


Figure 9.6.2. Locations for measurements of thickness t_{n01} and widths w_{n01} , w_{n02} , and w_w on the specimen with notches before the test

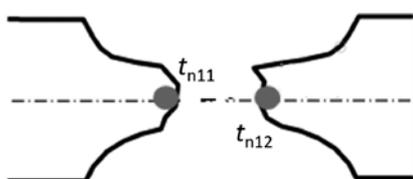
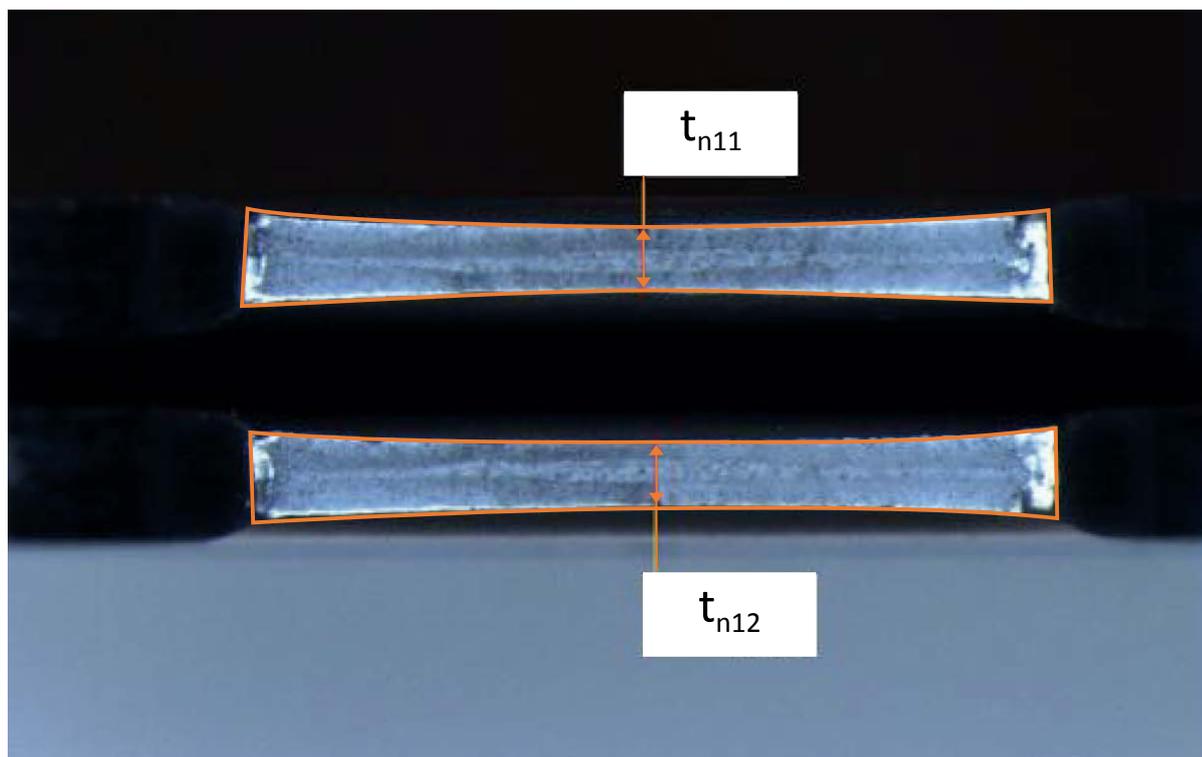


Bild 9.6.3: Schematic top view (left) and front view (right) of both specimen halves. Example locations for measurements of thicknesses t_{n11} and t_{n12} on the specimen with notches after the test

Table 5-1. Selection of test parameters for the determination of elastic plastic values using the tensile test

Pre-treatment of the specimen		Test temperature, K	Pre-straining, %			Position rel. to roll. direction		
None	W170	233	0	2	10	0	45	90
None	W170	296	0	2	10	0	45	90
None	W170	373	0	2	10	0	45	90

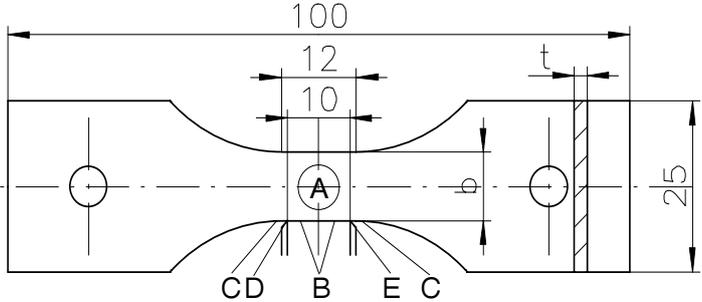
Table 7-1. Example of testing parameters for the dynamic tensile tests

Pre-treatment of the specimen		Test temperature, K	Pre-straining, %			Position rel. to roll. direction			Strain rate, 1/s			
None	W170	233	0	2	10	0		90	1	10	100	250
None	W170	296	0	2	10	0		90	1	10	100	250
None	W170	296	0	2	10	0		90	1	10	100	250
None	W170	373	0	2	10	0		90	1	10	100	250

Table 8-1. Selection of test parameters for cyclic properties

Pre-treatment of the specimen		Test temperature, K	Pre-straining, %			Position rel. to roll. direction		
None	W170	233	0	2	10	0	45	90
None	W170	296	0	2	10	0	45	90
None	W170	373	0	2	10	0	45	90

Table 8-2. Test report for the cyclic material properties

Test report - Cyclic material characteristics						
Test unit: _____	Specimen lettering _____					
	Internal No. _____					
	Test series No. _____					
Date fitted: _____		Date removed: _____		Prepared by: _____		
Load cell No. _____	Nominal load: _____ [N]	10 V = _____ [N]				
Extensometer No. _____	Nominal strain: _____ [%]	10 V = _____ [%]				
Position encoder No. _____	Nominal travel: _____ [mm]	10 V = _____ [mm]				
Material: _____	Roll. direction: _____	Strain ratio: $R_\epsilon = -1$	Heat treatment: _____	Test temp. _____		
	0° (in RD)	$R_\epsilon = 0$	Batch annealed	- 40 °C		
Belt number: _____	45°		Contin. annealed	Room temp.		
	90° (across)		Bake hardened	+ 100 °C		
			Coil annealed			
			Specimen treatment: Edges rounded Edges polished Surface polished Test cross section: Width $w =$ _____ [mm] Thickn. $t =$ _____ [mm] Area $A =$ _____ [mm ²] 10 V = _____ [MPa]			
Strain amplitude:	$\epsilon_{a,t} =$ _____ [%]	Beginning of test: _____				
Initial load frequency:	$f_{initial} =$ _____ [s ⁻¹]	Direction of tension _____				
Test frequency:	$f_{test} =$ _____ [s ⁻¹]	Direction of compression _____				
Tight. torque buckling guide:	$M_T =$ 0.05 [Nm]					
Load per cutter:	$F_P =$ 2 [N]					
Vibration cycles up to:		Position of crack initiation (pencil in!)				
End of test	$N_{TE} =$ _____	A Crack initiation in rolled surface				
		B Cutting edge between cutters				
		C Cutting edge outside cutters				
10% drop in stress amplitude	$N_i =$ _____	D Crack initiation under cutters (top)				
		E Crack initiation under cutters (bottom)				
Evaluation of stabilised hysteresis at $N_{i, 10\%/2}$						
$\sigma_{min} =$ _____ [MPa]	$\sigma_{max} =$ _____ [MPa]	$\sigma_a =$ _____ [MPa]	$R_\sigma =$ _____			
$\epsilon_{min} =$ _____ [%]	$\epsilon_{max} =$ _____ [%]	$\epsilon_{a,t} =$ _____ [%]	$R_\epsilon =$ _____			
Elastic strain component: $\epsilon_{a,e} = \sigma_a / E$		$\epsilon_{a,p} =$ _____ [%] (modulus in tension)				
Plastic strain component: $\epsilon_{a,p} = \epsilon_{a,t} - \epsilon_{a,e}$		$\epsilon_{a,e} =$ _____ [%]				
Remarks/Files						
Cycles		Raw data	Init. load hyst	$\sigma_{min}/\sigma_{min}$ vs N	Stab. hyst.	Medium
From	To					

14 Significant Changes

The following significant changes have been made since the 1st edition (2006):

General	General updating of content and references
5.5 New	Determination of the yield curve in the bulge test
5.7.1 (ex 5.6.1)	Elastic behaviour References were adapted
5.7.3 New	Flow curve from the bulge test
6.1	
7.1	High speed tensile test Reference to EN ISO 26203
7.2	Specimens Description shortened. Reference to EN ISO 26203
8	Cyclic material properties completely revised
9	Fracture properties Newly included as important part of material characterization
10	Normative references updated
12 (ex 9) Data files	Supplemented: 12.7 to 12.9 data files for fracture characterization (example: speci-men with a hole); complete in SEP 1237
13 (ex 11) Annex – Figures and Tables	Explanations were included in the text
Figures 8.7 and 8.8	revised
Figures 9.5.1 and 9.6.1	included
Table 7.1	changed